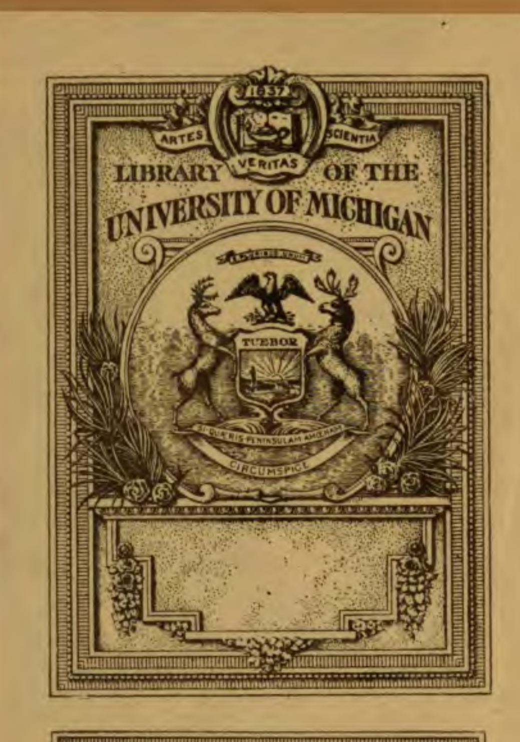



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE



Physik
und
Kulturentwicklung

durch technische und wissenschaftliche Erweiterung der menschlichen Naturanlagen

Von
Heinrich
Otto Wiener 1862-

Zweite Auflage

Mit 72 Abbildungen im Text



Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1921

Vorwort zur ersten Auflage.

Die vorliegende Schrift gibt Vorträge wieder, die im September 1917 in Prilep in Mazedonien gehalten wurden. Sie bildeten den Teil eines Hochschulkurses, der im Auftrag Sr. Exzellenz des Kommandierenden Generals v. Steuben für die Akademiker der XI. Armee bestimmt war. Unsere Kommilitonen, die unter vielen Entbehrungen und in einem krankheitsschwangeren Klima dort aushielten, fern von der heimischen Kultur, sollten sich wieder einmal an die Hochschule zurückversetzt fühlen. Als ich daher durch meinen lieben Kollegen, Professor Rinne, und den Oberpfarrer Esch die Aufforderung zur Teilnahme an den Kursen erhielt, folgte ich ihr mit Freuden. Im August 1918 wurden die Vorträge in gekürzter Form bei Hochschulkursen in Kiew, Charkow und Luzk wiederholt.

Da die Zuhörerschaft aus allen Kreisen der Gebildeten zusammengesetzt war, so konnte es sich nicht um ein Sondergebiet physikalischer Wissenschaft handeln. Es schien mir zweckmäßig, an meine Leipziger Antrittsvorlesung über die Erweiterung unserer Sinne anzuknüpfen, den Gegenstand aber zu verallgemeinern gemäß einer Bemerkung von Herbert Spencer, wonach Werkzeuge und Maschinen als künstliche Ausdehnungen der Gliedmaßen gelten können, ebenso gut wie die Apparate als Erweiterungen der Sinne. Indem ich noch die Erweiterung des Geistes durch die Wissenschaft als dritten Punkt hinzunahm, gewann ich eine Zusammenfassung aller der Leistungen, worin der Mensch in unvergleichlichem Maße über die Tierwelt hinausgeht, und damit eine einheitliche Darstellung der Grundlagen unseres ganzen Kulturlebens, soweit sie mit der Physik zusammenhängen.

Zugleich ergab sich die Möglichkeit, in einen Brennpunkt diejenigen Tatsachen und Lehren der Physik zusammenzudrängen, die für die Allgemeinheit von besonderer Wichtigkeit und Reiz sind. Freilich paßten

gewisse neuere Lehren der Physik, wie die Relativitäts- und Quantentheorie, nicht gut hinein. Wer sich darüber leicht unterrichten will, sei u. a. auf den Physikband von Teubners „Kultur der Gegenwart“ verwiesen.

Dagegen schien einiges Eingehen auf die Technik und ihre Beziehung zum Kulturleben geboten. Dabei stieß ich auf ein umfangreiches neueres Schrifttum, das wohl die allgemeine Beachtung noch wenig gefunden hat, die sie in hohem Maße verdient. So ergab sich ein abgerundetes Bild, das vielleicht geeignet ist, auch in weiteren Kreisen Teilnahme zu erwecken.

Bei der Kürze der mir für die Prileper Vorträge gebliebenen Zeit der Vorbereitung erschien mir eine genauere Ausarbeitung geboten. Die benutzten Quellen finden sich am Schluß zusammengetragen, von denen ich besonders auf die hinweise, die sich mit den Beziehungen der Technik zur Kultur beschäftigen. Auf Anmerkungshinweise im Text ist zur Vermeidung einer Störung des Lesers verzichtet worden. Dafür finden sich hinten bei den Quellen die Hinweise, auf welche Stellen des Textes sie sich beziehen.

Erst nach Abschluß der vorliegenden Schrift kam ich dazu, das rühmlichst bekannte Werk über die Quellen unserer Kultur, H. S. Chamberlains lebendiges Buch „Die Grundlagen des 19. Jahrhunderts“, zu lesen. Chamberlain braucht für seine Darstellung einen engeren Begriff der Kultur, als er hier benutzt wurde. Und doch glaube ich, daß vorliegende kleine Schrift und Chamberlains Werk im Grunde auf dasselbe hinauslaufen, indem sie beide als die Urquellen aller Kultur ansehen: den schöpferischen Gedanken und die schöpferische Tat, gleichgültig auf welchem besonderen Gebiet sie sich äußern.

Zur Belebung des Vortrags hatte ich eine größere Zahl von Lichtbildern zusammengestellt, von denen hier ungefähr zwei Drittel ausgewählt und wiedergegeben sind. Allen Schriftstellern, Verlegern, Ingenieuren und Fabrikleitungen, die die Wiedergabe der Bilder aus ihren Werken bzw. nach Originalaufnahmen gestatteten, sei hier mein herzlicher Dank ausgesprochen. Sie sind beim Verzeichnis der Bilder genannt.

Dank gebührt auch dem Verlage B. G. Teubner, der keine Mühe scheute bei der Herbeischaffung der Bildvorlagen und ihrer sachgemäßen Wiedergabe.

Leipzig, Oktober 1918. O. Wiener.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Das vorliegende Büchlein wurde so freundlich aufgenommen, daß sich schon jetzt eine Neuauflage nötig macht. Auch für die wohlwollenden Besprechungen in Tageszeitungen und Fachblättern kann ich nur dankbar sein. Ich bin das nicht minder für verschiedene Ausstellungen, die ich bei der Neuauflage, soweit sie mir einleuchteten, berücksichtigt habe. So wurde von einer Seite der Wunsch geäußert, daß die merkwürdige Lichtempfindlichkeit des Selens Erwähnung finden möchte. Diesem Wunsche bin ich nachgekommen und habe bei dieser Gelegenheit auch die besonders neuerdings so wichtig gewordene lichtelektrische Zelle von Elster und Geitel besprochen. Der Versuchung, den Gedanken der Erweiterung der Sinne noch weiter auszuspinnen, habe ich widerstanden. Es ließe sich gewiß über den Gegenstand ein umfangreiches Buch schreiben. Es würde dann aber notwendigerweise sehr ermüdend ausfallen. Wer auf die Weiterverfolgung dieses Gedankens Wert legt, sei auf einen inzwischen von Herrn Dr. Kodweiß geschriebenen Aufsatz verwiesen, der in den „Quellen" näher bezeichnet wurde.

Auch war ich nicht der Ansicht, daß es zweckmäßig sei, die Bilder ausführlicher in der Schrift zu erläutern. Der Faden des allgemeinen Gedankens würde dadurch zerrissen werden. Trotzdem scheinen mir die Bilder nicht überflüssig zu sein; der Beschauer ersieht doch daran manch unmittelbar Verständliches, und der Wunsch, tiefer einzudringen, ist stets an Hand der angegebenen Quellen erfüllbar.

Dagegen glaubte ich noch einen kurzen Abschnitt über die natürlichen Sinne beifügen zu sollen, die sehr viel mannigfaltiger sind, als

das gemeinhin angenommen wird. Außerdem wurden drei Abbildungen durch bessere ersetzt, der Quellennachweis ergänzt und einige kleinere Verbesserungen und Zufügungen angebracht.

Ein Beurteiler hat es, wie es scheint, nicht berücksichtigt, daß diese Vorträge noch mitten im Kriege gehalten wurden. In der Tat liest man jetzt nach dem Umsturz die letzten Abschnitte des Buches mit anderen Empfindungen, als das vorher geschehen wäre. Ich habe aber nicht den geringsten Anlaß, das Geschriebene zu verleugnen, und habe nichts daran geändert. Um so mehr war es mir ein Bedürfnis, zu den neuesten Ereignissen, die jedem Deutschen, der sein Vaterland liebt, nahe gehen, in einem letzten neu hinzugefügten Abschnitt Stellung zu nehmen. Es geschah das in ähnlicher Weise, wie ich es in diesen bewegten Zeiten auch vor meinen aus dem Felde heimgekehrten Zuhörern zu tun Gelegenheit hatte. Und so ist auch dieser neue Abschnitt so geschrieben, als ob ich zur Hochschuljugend spräche, der mein Herz gehört.

Leipzig, im Oktober 1920. **O. Wiener.**

Inhalt.

III. Die Erweiterung des Geistes.

IV. Die Erweiterung der Gliedmaßen.

I. Einführung.

Wenn der Physiker einen weiten Kreis fesseln soll, so kann er kaum eine geeignetere Frage behandeln als die, welche Bedeutung sein Fach für die Allgemeinheit hat: für unser ganzes Kulturleben.

Was ist Kultur? Da entsteht die Vorfrage: Was sollen wir unter Kultur verstehen? Was sollen die Naturforscher darunter verstehen, für die die Ansicht Allgemeingut geworden ist, daß der Mensch aus der Tierwelt hervorgegangen ist, die Tierwelt aus einfachsten Lebewesen in einer langen Entwicklung, deren Dauer man heute auf Milliarden von Jahren abschätzt? Der Mensch steht also mitten in der Natur, und dazu gehört alles, was er geschaffen und gedacht hat: seine ganze Kultur. Aber das ist so außerordentlich viel reicher und mannigfaltiger als alles, was je eine Tierart zu leisten vermochte, daß man mit Recht von menschlicher Kultur spricht. Sie umfaßt alle die Leistungen, die wesentlich über die Leistungen der höchstentwickelten Tierarten hinausgehen.

Es fragt sich weiter: Was verstehen wir unter höheren Leistungen, höherer Stufe der Entwicklung, höherer Kultur? Betrachten wir die Leistungen eines Lebewesens ganz allgemein, so finden wir, daß ihnen drei Arten von Sonderleistungen zugrunde liegen: die Art, wie es Eindrücke aus der Außenwelt aufnimmt, die Art, wie es diese in sich verarbeitet, und die Art, wie es daraufhin auf die Außenwelt einzuwirken vermag.

Die Eindrücke der Außenwelt werden durch die Sinne aufgenommen. Verarbeitet werden sie mit Nervensystem und Gehirn oder, anders ausgedrückt, durch den Geist. Die Rückwirkung auf die Außenwelt erfolgt durch die Gliedmaßen, allgemeiner durch die Werkzeuge des Körpers, insonderheit seine Bewegungswerkzeuge, wozu auch die sprachbildende Stimme gehört.

Die Freiheit der Gliedmaßen. Die Leistungen der Gliedmaßen können in einfacher Weise gewertet werden nach dem Grad der Freiheit ihrer Betätigung. Der Physiker sagt, ein Hebel besitze eine Bewegungsfreiheit, wenn seine Lage durch die Angabe einer Veränderlichen, etwa

eines Winkels, bestimmt wird. Das wäre also ein um eine Achse drehbarer Hebel. Befindet sich an dessen Ende ein zweiter Hebel, dessen Drehungsachse mit der des ersten einen Winkel bildet, so erhält man ein Hebelgebilde von zwei Freiheitsgraden. Indem man auf dem Umweg über das zweite Gelenk zum Endpunkt des Hebelgebildes gelangt, hat man also eine Freiheit der Bewegung mehr gewonnen.

Der mit Kugelgelenk versehene Oberarm des Menschen stellt bereits ein Gebilde mit zwei Freiheitsgraden vor. Der Unterarm, die Hand und die Finger fügen neue Grade der Freiheit hinzu; und wenn auch die Möglichkeit, ohne weiteres die Freiheit der Leistungen eines Gliedes oder eines ganzen Lebewesens rein zahlenmäßig zu bestimmen, bald aufhört und verschiedene Arten von Freiheiten in Betracht gezogen werden müssen, so ist doch die erweiterte oder übertragene Verwendung dieses Begriffes kaum mißverständlich.

Die Höherentwicklung in der Lebewelt bemißt sich nun wesentlich nach dem gesamten Umfang der Betätigungsfreiheit der Lebewesen. Hat die stets verändernde, neuschaffende und zusammensetzende Tätigkeit der Natur einem Lebewesen die Vergrößerung seines Freiheitsgrades gebracht, so erweist er sich meist in höchstem Grade förderlich im Kampf ums Dasein und führt zum Festhalten der einmal erworbenen Freiheit.

So besitzt der Affe im Daumen der Hände ein Werkzeug, das ihm einerseits die große Klettergeschicklichkeit sichert, geeignet zu raschem Entkommen vor stärkerem Feinde, andererseits nützlich ist beim Ergreifen und Verarbeiten der Nahrung. Ebenso verhilft dem Hasen und Reh die große Geschwindigkeit der Beine zur Flucht vor dem Feinde. Hier handelt es sich indes nicht um den Freiheitsgrad der Gliedmaßen an sich, sondern um eine abgeleitete Eigenschaft ihrer Tätigkeit. Die Vergrößerung der Geschwindigkeit bringt auch keinen größeren Freiheitsgrad, sondern einen größeren Bereich der Geschwindigkeit und somit der Bewegungsfreiheit hervor.

Eine neue Art der Freiheit kommt endlich in Frage, wenn ein Lebewesen beispielsweise die Befähigung erhält, sich nicht bloß auf dem Erdboden, sondern auch im Wasser oder in der Luft zu bewegen. Diese letzte Art der Freiheit erwarben die Saurier, als sie in langen Zeiträumen ihre vorderen Gliedmaßen zu Flügeln umbildeten.

So erkennt man, daß neben dem Grad noch der Bereich und die Art der Freiheit in Frage kommt. Zusammenfassend kann dann gesprochen werden von dem Gesamtumfang der Betätigungsfreiheit. Dieser ist es also, der die Höherentwicklung in der Lebewelt bestimmt.

Der Mannigfaltigkeitsgrad der Sinne. Was von den Bewegungswerkzeugen gilt, gilt in ähnlicher Weise auch von den Sinneswerkzeugen. Während aber der Betätigung der Gliedmaßen ein Willens- oder reflektorischer Vorgang vorausgehen muß, wird das Sinneswerkzeug in den meisten Fällen ohne weiteres durch den äußeren Reiz in Tätigkeit versetzt, wenngleich es auch nicht selten geschieht, daß das Sinneswerkzeug, z. B. das Auge, absichtlich eingestellt wird. Man kann daher nicht allgemein von dem Freiheitsgrad der Sinne reden. An dessen Stelle tritt der Mannigfaltigkeitsgrad ihrer Leistungen. So besitzt der Farbensinn des Menschen nur eine dreifache Mannigfaltigkeit, weil jede Farbe durch Mischung von drei Grundfarben in wechselnden Verhältnissen hergestellt werden kann, so daß physikalisch verschieden zusammengesetzte Farben dem Auge gleichfarbig erscheinen können, z. B. weiß durch Mischung von gelbem und blauem Licht ebensogut wie durch Mischung von purpurrotem und grünem. Einen viel größeren Mannigfaltigkeitsgrad besitzt das menschliche Gehör, durch das Hunderte von Tönen voneinander unabhängige Empfindungen hervorrufen, die nicht durch Mischung zweier anderen Töne erzeugt werden können.

Neben dem Grad der Mannigfaltigkeit hat man, wie bei der Freiheit der Gliedmaßen, so hier bei den Sinnen den Bereich, den Grad, die Arten und damit den Gesamtumfang der Mannigfaltigkeit in Betracht zu ziehen.

So hat die Ton- und Lichtstärke für jeden einfachen Ton, beziehungsweise Farbe, einen bestimmten Bereich. Er ist begrenzt durch die geringste Stärke, die noch eine Empfindung erzeugt und die man mit Fechner als Reizschwelle bezeichnet. Ihr kommt eine besondere biologische Bedeutung zu. Die Empfindlichkeit eines Sinnes spielt eine große Rolle im Kampf ums Dasein: je empfindlicher das Sinneswerkzeug – Auge, Ohr oder Geruch –, desto früher oder leichter können Feind und Beute erkannt werden. Aber auch nach oben hin besteht eine Grenze, die Reizhöhe, von der ab Ton- oder Lichtstärken voneinander nicht mehr als verschieden empfunden werden können: die Unterschiedsschwelle

nach Fechner verschwindet dann. Sie hat an der Grenze des Bereichs keine besondere Bedeutung, spielt aber innerhalb des Bereichs eine wichtige Rolle, auf die wir später noch genauer eingehen wollen.

Von hervorragender Bedeutung ist der Reichtum an verschiedenen Arten von Sinnen, der aber auch beim Menschen verhältnismäßig begrenzt ist. Der Gesamtumfang der Sinnesleistungen wird durch die Zahl der verschiedenen Sinnarten, ihren Mannigfaltigkeitsgrad und ihren Bereich bestimmt.

Der Freiheitsgrad des Geistes. Während wir nun bei den Sinnen an Stelle des Freiheitsgrades ihren Mannigfaltigkeitsgrad in Betracht zu ziehen hatten, können wir bei der geistigen Tätigkeit ähnlich wie bei der Tätigkeit der Gliedmaßen, wenn auch in einem verwickelteren, aber reicheren Sinn, vom Freiheitsgrad des Geistes reden. Insofern wir die geistige Tätigkeit nicht weiter zergliedern, wenn wir nicht in eine umfassende Untersuchung geistiger Tätigkeiten eintreten wollen, genügt es für unsere Zwecke, von ihrem Freiheitsgrad allein zu sprechen. Auch hier wird wie bei den Gliedmaßen durch Einschlagen von Umwegen und Zwischenschaltstellen der höhere Grad von Freiheit erworben.

Ein Schmetterling antwortet auf Helligkeitsreiz mit dem Flug nach der hellen Stelle, einerlei ob sie ihm den Weg aus dem Gebüsch nach der blumigen Wiese eröffnet, oder ob sie ihn in die offene Flamme zum Tode führt. Das Reh dagegen schaut erst aus, ob die Luft rein von Feinden ist, ehe es aus dem Wald ins Freie tritt.

In viel höherem Maße als Sinnes- und Bewegungswerkzeuge bestimmt der Freiheitsgrad des Geistes die Höherentwicklung der Lebewesen. Kann doch die Sprache als eine Erfindung des zum Menschen sich wandelnden Tieres gelten; keine Erfindung freilich im gewöhnlichen Sinne, aber doch ein unter vorwiegend geistigem Einfluß stehendes Erzeugnis einer langen Entwicklung. Unter dem Einfluß der Sprache aber hat sich das Werkzeug der Stimme vervollkommnet. Und so ist anzunehmen, daß die natürlichen Werkzeuge der Bewegung und der Sinne sich unter geistigem Einfluß weitergebildet und vervollkommnet haben.

Die künstliche Erweiterung der natürlichen Werkzeuge, der Sinne und des Geistes. Aber die langsame, Jahrhunderttausende und Jahrmillionen erfordernde Entwicklung der natürlichen Werkzeuge genügte der rascheren geistigen Entwicklung endlich nicht mehr, und die For-

mung äußeren Stoffes mußte hergeben, was der eigene Körper so rasch nicht gewähren konnte.

Steinwerkzeuge sind wohl das älteste Zeugnis dieser neuartigen Entwicklung, dessen Alter auf einige Millionen von Jahren geschätzt wird. Diese Werkzeuge können als eine Erweiterung der natürlichen Werkzeuge des Körpers betrachtet werden. Zu ihm gesellt sich mit der Zeit eine künstliche Erweiterung der natürlichen Sinneswerkzeuge, als welche alle Apparate zur verbesserten Aufnahme äußerer Eindrücke, wie Fernrohr und Mikroskop, betrachtet werden können. Zugleich mit ihnen entwickelt sich eine Erweiterung des Geistes, als welche das Gebäude von ganzen Wissenschaften betrachtet werden kann.

Mit dieser künstlichen Erweiterung der natürlichen Fähigkeiten ist ein außerordentlicher Vorteil verbunden; denn die Rückwirkung des Geistes auf die Veränderung oder Neuschaffung künstlicher Sinnes- und Bewegungswerkzeuge ist mit einer unermeßlich viel größeren Geschwindigkeit möglich, als nervöse Reize im Laufe der Tierentwicklung neue natürliche Sinnes- oder Bewegungswerkzeuge entstehen lassen können. Jahrmillionen mögen vergangen sein, ehe den Sauriern natürliche Flügel wuchsen; in zwei Jahrzehnten hat der Mensch die künstlichen Flügel aus schwachen Anfängen heraus zu einer Leistungsfähigkeit entwickelt, die schon die der Vögel in Schatten zu stellen beginnt. In kurzer Frist ist so dem Menschen eine neue Art der Bewegungsfreiheit erwachsen.

Die Kulturhöhe abhängig von dem Freiheitsumfang menschlicher Betätigung. Was von der Entwicklung der natürlichen Fähigkeiten des Tiergeschlechts geltend gefunden wurde, gilt in erhöhtem Maße von der künstlichen Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten: der Erweiterung der Sinne, des Geistes, der Gliedmaßen: sie alle führen zu einem stets zunehmenden Freiheitsumfang menschlicher Betätigung. Und wie die Höhe der tierischen Entwicklung von dieser Freiheit abhängig ist, so ist es auch die Höhe der menschlichen Kultur.

Was ich hier im einzelnen zu begründen versuchte, ist im allgemeinen von den Vertretern der Technik längst erkannt und ausgesprochen; ich nenne nur Eberhard Zschimmer, der diesen Gedanken der Freiheit schaffenden Technik besonders in seiner „Philosophie der Technik“ ausgeführt hat.

Aber noch in einem anderen Sinne schafft die Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik, die jene Erweiterung menschlicher Fähigkeiten in erster Linie hervorbringt, Freiheit, nämlich Freiheit im Sinne von Unabhängigkeit, also persönliche und bürgerliche Freiheit. Dieser Gedanke ist besonders von Ulrich Wendt entwickelt worden in seinem lesenswerten Werke „Die Technik als Kulturmacht". Ich will auf diesen Gedanken noch am Schlusse unserer Betrachtungen genauer eingehen.

Jetzt wenden wir uns zur Ausführung der entwickelten Gedankengänge im einzelnen. Wir haben erkannt, daß das Wachstum der Kultur von der Zunahme des Freiheitsumfangs der menschlichen Fähigkeiten abhängt, und daß diese Freiheitssteigerung bewirkt wird durch drei Arten der Fähigkeitserweiterung: die Erweiterung der Sinne, die Erweiterung des Geistes und die Erweiterung der Gliedmaßen oder allgemeiner der Tätigkeitswerkzeuge. Denn der Begriff der Bewegungswerkzeuge ist insofern zu eng, als es neben den zur Bewegung dienenden Gliedmaßen auch andere Werkzeuge gibt, wie elektrische der Fische oder giftliefernde der Schlangen.

Doch wollen wir unsere Betrachtungen überall auf die physikalische Seite des Gegenstandes beschränken. Was von ihr gesagt wird, läßt sich in ganz ähnlicher Weise auch auf die chemische und allgemein-naturwissenschaftliche ausdehnen. Die physikalische Seite des Gegenstandes kann als die grundlegende gelten.

Wir wollen demnach beginnen mit der Betrachtung der Erweiterung der Sinne, wir wenden uns dann zur Betrachtung der Erweiterung des Geistes, wie er durch das Werkzeug der physikalischen Wissenschaft geliefert wird, und schließen endlich mit der Erweiterung der Gliedmaßen in Form von Werkzeugen und Maschinen, wobei gleichfalls die physikalische Seite des Gegenstandes bevorzugt, die rein technische nur kurz erläutert werden soll, und wollen zum Schluß die Frage behandeln, inwiefern diese Betätigungen unser ganzes Kulturleben beeinflussen, ja selbst ein Stück Kultur ausmachen.

II. Die Erweiterung der Sinne.

Die natürlichen Sinne. Es ist vielleicht nicht überflüssig, einen Blick auf die natürlichen Sinne zu werfen, bevor wir die künstlichen betrachten. Denn die Meinung des Sprichwortes, wonach der Mensch nur fünf Sinne habe, ist durchaus im Unrecht.

Schon beim „Gefühl" muß man dem Bau und der Aufgabe nach verschiedene Einzelsinne unterscheiden. Neben dem Tast- oder Drucksinn bestehen noch besondere Einrichtungen für Wärmeempfindungen. Ja, manche Forscher glauben von dem Drucksinn noch einen besonderen Schmerzsinn abtrennen zu müssen, d. h. einen Sinn für besonders bedrohliche Eingriffe oder Veränderungen. Sicher festgestellt ist aber die absonderliche Tatsache, daß es zwei voneinander wohl zu unterscheidende Wärmesinne gibt, einen für Wärme und einen für Kälte. Ja, diese sind so grundsätzlich voneinander verschieden, daß auch für sie der Satz von der Sonderart der Sinnesempfindungen gilt, der seit dem Physiologen Johannes Müller unter dem Satz der „spezifischen Sinnesenergien" bekannt ist.

Dieser Satz gilt nun auch für den Kältesinn. Die Zellen, welche die Empfindung von Kälte und Wärme vermitteln, sind nämlich in der Haut voneinander, wenn auch nicht weit, getrennt, so daß man mit Hilfe einer, Kälte oder Wärme zuführenden, Nadel sie gesondert reizen kann. Wenn man nun eine Kältezelle mit einer heißen Nadel reizt, antwortet sie nicht mit einer Wärme-, sondern mit einer Kälteempfindung.

Als mechanische Sinne sind neben den Tastsinnen und dem Gehörsinn auch noch ein besonderer Gleichgewichtssinn vorhanden, der auf geradlinige und Drehbeschleunigungen antwortet. Von diesem Sinn werden wir später noch etwas ganz Eigenartiges hören.

Auch die chemischen Sinne, zu denen der Geschmack und Geruch gehören, sind durchaus nicht einfacher Art, so daß man schon beim Menschen vier besondere Geschmackssinne und neun Geruchssinne unterschieden hat, die in besonderer Weise auf verschiedene chemische Reize antworten. Zählt man alle zusammen, so kommt man auf 20 Sinne, wobei noch der „Muskelsinn" und die inneren Sinne nicht mitgezählt

sind, die auf Hunger, Durst und Ähnliches antworten, und die der genaueren Untersuchung harren.

Zieht man noch das Tierreich zur Betrachtung heran, so hat man dort mit teilweise neuen Sinnen zu rechnen, besonders chemischen Sinnen. Fast unübersehbar aber ist die Mannigfaltigkeit, mit der ein bestimmter Sinn, z. B. das Auge, bei verschiedenen Tierarten gebaut ist. Als höchstes Kunstwerk der Natur wird gewiß das menschliche Auge gelten, wenn es auch in rein physikalischer Hinsicht allerlei Mängel aufweist. An Empfindlichkeit sind einzelne Sinne, wie der Geschmackssinn, durch künstliche Mittel bisher kaum übertroffen worden. Ist doch bekannt, daß die Zunge des Weinkenners der feinsten chemischen Künste spottet. Aber doch sind im ganzen genommen alle diese Sinneseinrichtungen keineswegs umfassend, und inwiefern die künstlichen darüber hinausgehen, davon soll jetzt die Rede sein.

Der Mannigfaltigkeitsgrad der Apparate als künstlicher Sinne. Wir wollen zunächst, ohne uns allzu peinlich an eine bestimmte Reihenfolge zu halten, zusehen, inwiefern Apparate eine Erweiterung unserer Sinne bedeuten. Ihre Leistungen werden wir nach den gleichen Grundsätzen wie die der Sinne selbst zu beurteilen haben, d. h. nach Mannigfaltigkeitsgrad und Bereich des einzelnen und nach dem Reichtum der Gesamtheit an verschiedenen Arten. Während aber die Zahl unserer Sinne ein für allemal feststeht, wächst die Zahl der den verschiedenen Zwecken dienenden Apparate immer mehr an und ist an keine bestimmte Grenze gebunden. Der Mannigfaltigkeitsgrad eines einzelnen Apparates spielt daher keine wesentliche Rolle, da, sofern es ihm daran fehlen sollte, er durch verwandte Apparate ergänzt werden kann.

Doch kann man noch in einem anderen Sinne von dem Mannigfaltigkeitsgrad eines Apparates sprechen. Wie jeder natürliche Sinn besitzt auch jeder Apparat eine Unterschiedsschwelle, und je kleiner diese ist, um so größer wird die Zahl derjenigen zu messenden Größen sein, die als voneinander verschieden mit ihm erkannt werden können. Die Unterschiedsschwelle tritt also in gewisser Weise an Stelle des Mannigfaltigkeitsgrades.

Der Bereich eines Apparates wird wie der eines Sinnes durch die Reizschwelle oder absolute Schwelle bestimmt, d. i. durch die kleinste Größe, die er noch wahrzunehmen gestattet. Nach oben hin besteht zwar

auch für den einzelnen Apparat, nicht aber für eine ganze Apparatengattung, z. B. Wagen, eine fest angebbare Grenze. Somit kann man sich zur Beurteilung der Leistung von Apparaten beschränken auf die Betrachtung ihrer absoluten und Unterschieds-Empfindlichkeit. Und wir werden diese Empfindlichkeit zu vergleichen haben mit der Empfindlichkeit unserer entsprechenden natürlichen Sinne.

Die Empfindlichkeit der Wage. Beginnen wir mit einem einfachen Beispiel: Wenn wir 100 g auf der stillgehaltenen Hand liegen haben, so fühlen wir nach Heinrich Weber eine Erleichterung bei Wegnahme von etwa 30 g. Lagen 1000 g darauf, so müssen schon 300 g weggenommen werden, damit wir die Erleichterung empfinden. Stets tritt annähernd die gleiche verhältnismäßige Erleichterung über die Schwelle der Empfindung. Diese Aussage ist der Inhalt des „Weber-Fechnerschen psychophysischen Grundgesetzes".

Während wir mit unserem Drucksinn aber nur 30 v. H. der Änderung erkennen können und unter Zuziehung des Muskelgefühls bis herab zu etwa 3 v. H., indem man der abschätzenden Hand eine auf- und abgehende Bewegung gestattet, wird mit den empfindlichsten Wagen eine Änderung von mindestens ein Zweihundertmilliontel des aufgelegten Gewichtes noch bemerkt. Wenn also z. B. die Wagschalen mit 1 kg belastet sind, so läßt die Wage noch eine Änderung der Belastung von ein zweihundertel Milligramm erkennen.

Abb. 1 zeigt eine Wage von Stückrath, die von dem Normaleichungsamt in Berlin zur Vergleichung von Kilogrammstücken benutzt wird. Ohne uns auf die Einzelheiten des Baues einlassen zu wollen, erkennen wir seine Verwickeltheit. Vor allem ist hervorzuheben, daß zur Verminderung der Reibung der Schneiden auf der Unterlage die ganze Wage in eine Glocke versenkt werden kann, die durch eine Luftpumpe ausgepumpt wird. Die Auflage der Gewichte erfolgt durch eine Reihe von Gestängen von außen her, die luftdicht durch den Teller geführt sind. Der Ausschlag der Wage wird durch Fernrohrablesung mit Spiegel und Skala bestimmt.

Neben den Aufgaben der Genauigkeitsmeßtechnik sind solche Wagen wichtig zur Erforschung der Schwerkraft der Erde. Mit einer solchen Wage würde die Änderung der Schwerkraft mit dem Abstand vom Erdmittelpunkt bereits erkannt werden, wenn man die Höhenlage des

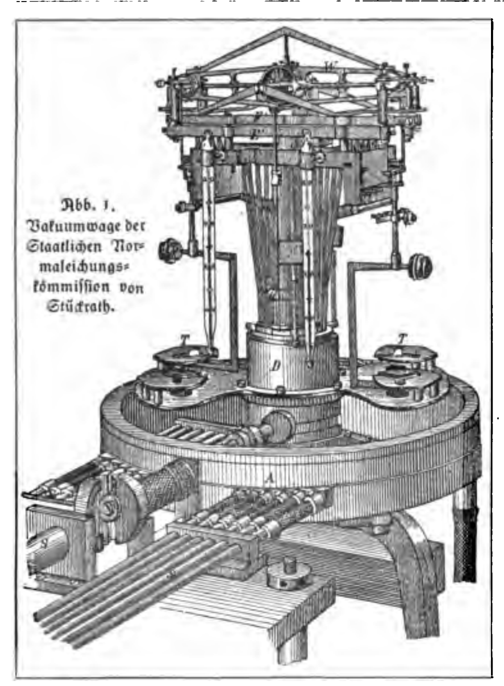


Abb. 1. Vakuumwage der Staatlichen Normaleichungskommission von Stückrath.

Gewichtes nur um 2 cm ändert. Wagen solcher Art ermöglichen, die Schwerkraft der Erde mit der Schwerkraft eines unter der einen Wagschale angebrachten Gewichtes zu vergleichen und damit die Größe der Masse der Erde zu bestimmen, oder wenn man sich volkstümlich ausdrücken will: sie ermöglichen, die Erde selbst abzuwiegen.

Die Bedeutung der Empfindlichkeitssteigerung der Apparate. Es wird manchmal die Frage aufgeworfen, ob es einen Sinn habe, die Empfindlichkeit unserer Apparate immer weiter zu steigern, und ob es einen Sinn habe, physikalische Konstanten, wie das spezifische Gewicht oder eine Gasdichte auf möglichst viele Dezimalen genau zu bestimmen, und man stellt die Übersorge des Genauigkeitseiferers der Sorglosigkeit des Experimentalphysikers gegenüber, dem es unter Umständen gelingt, durch Beobachtungen von mäßiger Genauigkeit die wichtigsten Entdeckungen zu machen. Ein gerechtes Urteil wird aussagen, daß beide Beobachtungsverfahren, je nach den gestellten Aufgaben, am Platze sind.

Ein sehr lehrreiches Beispiel des Sieges der Genauigkeit bietet die Entdeckungsgeschichte des Argons, eines Gases, das in merklicher Beimengung in der Luft vorhanden ist und doch bis zum Jahre 1894 der Aufmerksamkeit der Chemiker und Physiker entgangen war. Den Ausgangspunkt der Untersuchungen bildete die Frage, die sich Lord Rayleigh bereits 1882 vorlegte, ob das Verhältnis der Atomgewichte von Sauerstoff und Wasserstoff und somit auch ihrer Gas-

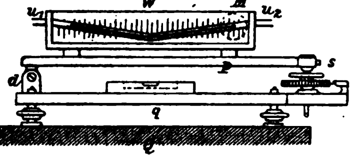
dichten genau 16:1 sei oder nicht. Die Entscheidung dieser Frage erschien von großer Bedeutung für die Proutsche Annahme der Einheitlichkeit aller Materie. Rayleigh entschied die Frage im verneinenden Sinne, hatte aber dann den Wunsch, die erzielte Genauigkeit der Gasdichtebestimmung auch auf den Stickstoff anzuwenden.

Der Stickstoff wurde dabei nach zwei verschiedenen Verfahren hergestellt; das einemal durch Entbindung des Stickstoffs aus seinen Verbindungen, das anderemal aus der Luft, der der Sauerstoff, die Kohlensäure und der Wasserdampf entzogen war. Es stellte sich heraus, daß die Dichte des Luftstickstoffs um 1/2 v. H. größer war als die des chemisch reinen Stickstoffs, nämlich 0,0012567 gegen 0,0012507. Es entstand der Argwohn, daß der Luft ein bisher unbekanntes Gas beigemengt sei; der Argwohn bestätigte sich und führte Rayleigh und Ramsay zur Entdeckung des für das periodische System der Elemente so wichtigen Argons.

Die Mikrowage. Betrachten wir jetzt die absolute Reizschwelle der Druckempfindung. Sie liegt für verschiedene Stellen des Körpers zwischen etwa 1 und 1000 mg. Warburg und Ihmori, Nernst und neuerdings Pettersson, Riesenfeld und Möller haben Wagen von außerordentlich gesteigerter Empfindlichkeit gebaut. Pettersson gelang es, eine Mikrowage herzustellen, die bei einer Belastung von 20 mg noch etwa den viermillionten Teil eines Milligramms zu messen gestattet. Natürlich mußte auch diese Wage in das Vakuum eingebaut werden, denn schon ein unsichtbares Stäubchen von etwa ein zweihundertel Millimeter Durchmesser würde ihr einen merklichen Ausschlag erteilen. Mit einer Wage ähnlicher Art gelang es Warburg und Ihmori, auf Gläsern unsichtbare dünne Wasserhäutchen nachzuweisen, die selbst dann noch nachweisbar geblieben wären, wenn ihre Dicke nur den fünften Teil eines milliontel Millimeters betragen hätte. Die größte Empfindlichkeit erzielten Riesenfeld und Möller mit dem Nachweis von dem dreißigsten Teil eines milliontel Milligramms bei einer Höchstbelastung ihrer Wage mit 5 mg.

Druckmessung und Drucklibelle. Ein allseitiger Druck, wie der Luftdruck, entzieht sich überhaupt unserer unmittelbaren Wahrnehmung. Das Torricellische Barometer läßt sich in außerordentlicher Weise verfeinern, indem man das Quecksilber durch das 16mal so leichte Xylol

ersetzt und indem man ferner seine Schenkel nicht senkrecht, sondern schwach geneigt anordnet. So entsteht die Kohlrausch-Töplersche Drucklibelle (Abb. 2), die noch den hunderten Teil einer milliontel Atmosphäre anzeigt. Dieses Instrument empfindet selbst im geschlossenen Zimmer Druckschwankungen, die dadurch zustande kommen, daß durch eine weit davon entfernte offene Tür eine Person hindurchschreitet.


Abb. 2. Drucklibelle nach August Töpler.

Dem Barometer unmerkliche Druckschwankungen, die durch Windwogen veranlaßt werden, können durch dieses Instrument wahrnehmbar gemacht werden. Es ist bekannt, daß im Käfig gehaltene Zugvögel unruhig werden, wenn die Luft zu einem Vogelzug geeignet ist. Es ist nicht unmöglich, daß sie die Druckschwankungen empfinden, die mit Windwogen in großer Höhe verbunden sind, welche den Zug begünstigen. Vielleicht wird man noch durch solche Drucklibellen den hier vermuteten Zusammenhang aufdecken.

Es gibt auch Menschen, die eine besondere Druckempfindlichkeit besitzen und sie zum Gedankenlesen benutzen. Es handelt sich dabei um die Wahrnehmung der geringsten Bewegungen, die, der Versuchsperson selbst nicht bewußt, von ihr bei Gedankenregungen ausgeführt werden. Diese Druckschwankungen können auch nach Angabe des Psychiaters Sommer durch empfindliche Manometer (Abb. 3) leicht sichtbar gemacht werden. Man braucht der Versuchsperson nur einen gespannten dünnen Gummiball in die Hände zu geben, dessen Inneres mit einem Wassermanometer in Verbindung steht. Stellt man ihr z. B. die Aufgabe, sich eine einfache Farbe zu denken und spricht ihr die verschiedenen Farben vor, so wird sie bei gesammeltem Denken nach der Nennung der gedachten Farbe mit der Hand eine ihr unmerkliche Bewegung ausführen, die dem Versuchsleiter durch die Zuckung des Manometers verraten wird.

Apparate zur Erkennung von Geisteskrankheiten. Sommer hat auch eine Reihe von Apparaten gebaut, die die feinsten Bewegungen des Beines, des Armes oder eines Fingers auf eine berußte Trommel aufzuzeichnen vermögen. Man sieht in Abb. 4 und 5 je einen solchen Apparat für Bein- und Fingerbewegung.

Da ein Finger dreierlei Grade der Freiheit der Bewegung besitzt:

von links nach rechts, von vorn nach hinten, von oben nach unten, so sind drei Trommeln nötig, um die ganze Bewegung zu bestimmen. Selbst dem gesunden Menschen ist es nicht leicht, den Finger längere Zeit vollständig ruhig zu halten. Bei geistigen Erkrankungen treten besonders auf äußere Reize Bewegungen auf, die bei verschiedenen Arten von Erkrankungen durchaus verschiedenartig ausfallen und so den Krankheitszustand verraten können, z. B. des Trinkers, des Fallsüchtigen oder des Paralytikers.

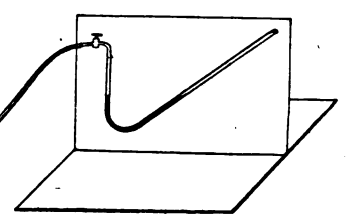


Abb. 3. Manometer zum Gedankenlesen.

Erdbebenmessung. Statt die Zitterbewegungen des menschlichen Körpers kann man auch die Erschütterungen der Erde mit geeigneten Instrumenten erkennen. Nur Erdbeben von gewaltiger Stärke in genügender Nähe des Herdes werden vom Menschen unmittelbar empfunden. Unsere empfindlichen Erdbebenmesser oder Seismographen haben eine ganz neue Wissenschaft angebahnt, indem sie die geringsten Bodenschwankungen bemerklich machen, selbst wenn das Beben aus der Gegend unserer Gegenfüßler stammt.

Das Muster, nach dem sie gebaut sind, ist das Pendel. Wird der Aufhängepunkt eines Pendels infolge der Erderschütterung ein wenig zur Seite bewegt, so wird auch das Pendel in Schwingung geraten. Statt ein Pendel oben aufzuhängen, kann man es auch von unten her stützen, wie Abb. 6 zeigt. Seine Lage ist dann freilich schwankend, und man muß es mit zwei seitlich angebrachten Federn verbinden, um ihm eine sichere Lage anzuweisen.

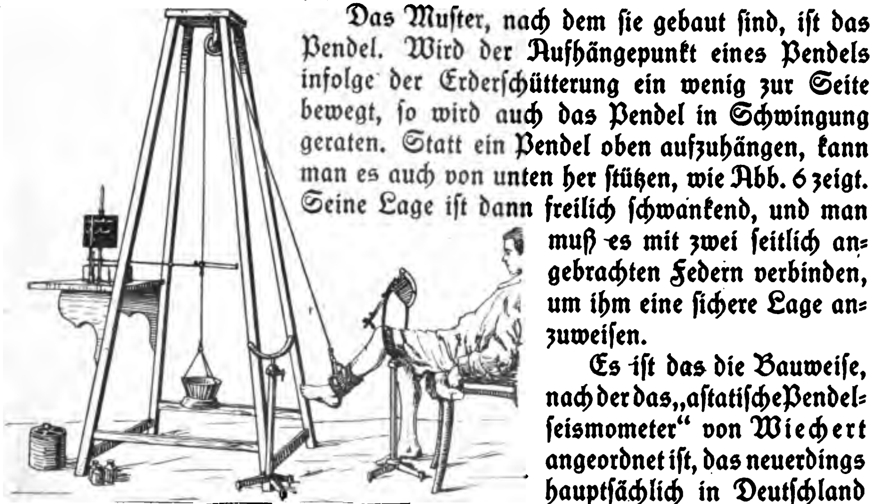


Abb. 4. Untersuchung des Beinreflexes nach R. Sommer.

Es ist das die Bauweise, nach der das „astatische Pendelseismometer“ von Wiechert angeordnet ist, das neuerdings hauptsächlich in Deutschland benutzt wird. Man sieht in

Abb. 7 die Anordnung eines Horizontalseismometers, in Abb. 8 ein solches selbst, das zur Überwindung von Reibungswiderständen mit der außerordentlichen Masse von 1100 kg ausgestattet ist. Seine wagrechte Verschiebung wird durch den Apparat in eine ost-westliche und nord-südliche Teilbewegung zerlegt, die auf je einem vorbeibewegten Papierstreifen aufgezeichnet werden.

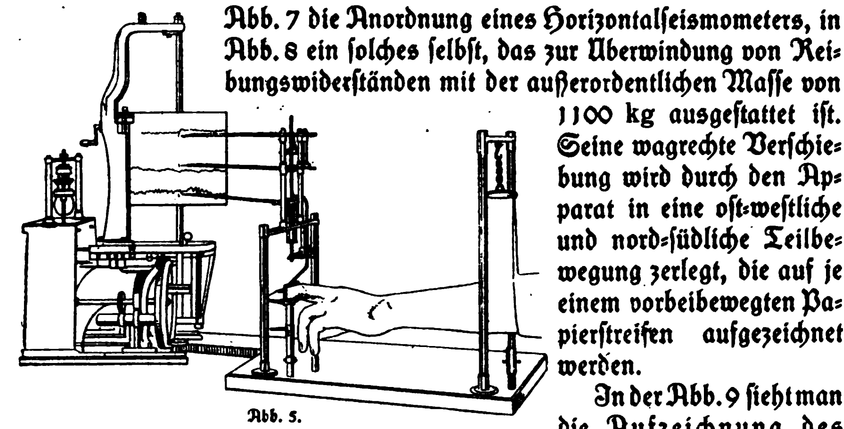


Abb. 5.
Untersuchung der Ausdrucksbewegungen des Fingers nach R. Sommer.

In der Abb. 9 sieht man die Aufzeichnung des Erdbebenmessers wiedergegeben. Man bemerkt, daß die größten Ausschläge - das Hauptbeben - vorbereitet werden durch kleinere - die beiden Vorläufer. Es hat sich herausgestellt, daß diese drei Beben durch drei verschiedene Arten von Erdbebenwellen ausgelöst werden. Der erste Vorläufer verdankt seine Entstehung einer longitudinalen Welle, d. h. Stoßwelle, die unmittelbar vom Bebenherd durch den Erdkörper nach dem Beobachtungsort gelangt. Der zweite Vorläufer besteht in einer transversalen, d. h. zur Stoßrichtung senkrechten Schwingung, die vom Erdbebenherd ausgeht. Die Hauptwelle endlich entsteht durch eine an der Erdoberfläche entlanglaufende transversale Welle, die vom Epizentrum herkommt, d. h. dem Punkte, der senkrecht über dem Erdbebenherd liegt. Alle drei Wellen haben eine verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit, und das ist der Grund, weshalb sie zu verschiedenen Zeiten am Beobachtungsort eintreffen. Da nun diese Geschwindigkeiten bekannt sind, so kann man aus dem Zeitunterschied ihres Eintreffens die Entfernung des Erdbebenherdes vom Beobachtungsort berechnen. Je weiter der Herd entfernt ist, desto größer wird eben der Zeitunterschied des Eintreffens der verschiedenen Wellen sein.

Abb. 6.
Pendel in regelmäßiger und verkehrter Lage.

Beachtet man noch das Verhältnis der

gleichzeitigen Ausschläge für die nord-südliche und west-östliche Teilbewegung, so kann man daraus auch die Richtung bestimmen, von der das Beben herkommt. So ist es möglich, aus den Aufzeichnungen eines einzigen Beobachtungsortes die Lage des Erdbebenherdes zu bestimmen, selbst wenn das Erdbeben aus Japan nach Europa kommen sollte. Freilich ist diese Berechnung aus den Aufzeichnungen eines einzigen Ortes noch ungenau. Aber ein zweiter, genügend weit entfernt liegender Beobachtungsort erhöht bedeutend die Genauigkeit.

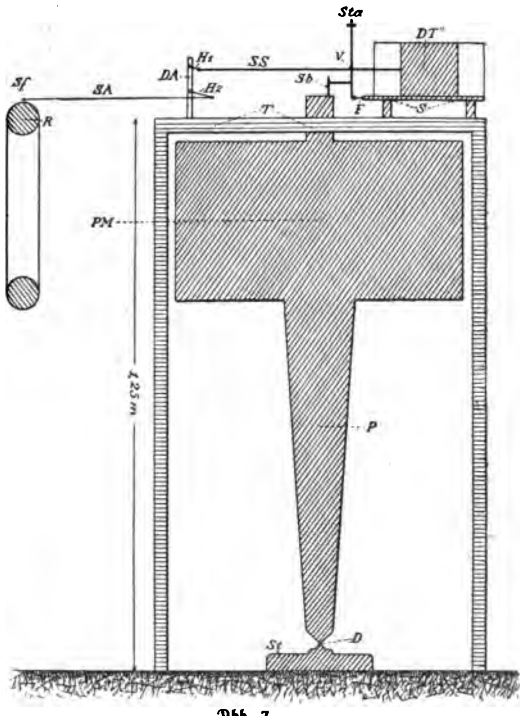


Abb. 7.
Anordnung des Wiechertschen astatischen Pendelseismometers.

Für die Erforschung des Erdinnern haben diese besonders durch Wiechert geförderten Untersuchungen eine ungeahnte Erweiterung unserer Kenntnisse gebracht. Die Verwickeltheit der Bebenaufzeichnungen hat zu der Erkenntnis geführt, daß die Beschaffenheit der Erde nicht einheitlich sein könne, und was man auch als Ergebnis der Dichtemessung der Erde vermutet hat, die bedeutend größer ist als die Dichte der Gesteine an der Oberfläche: daß nämlich die Erde aus einem festen metallischen Kern, vermutlich Eisenkern, besteht, der mit einem Gesteinsmantel umgeben ist, das haben die Bebenaufzeichnungen bestätigt. Danach ist anzunehmen, daß die Stelle, wo der Gesteinsmantel allmählich in den Eisenkern übergeht, in einer Tiefe von etwa 1500 km liegt. Auch haben sie die elastischen Eigenschaften des Eisenkernes erkennen lassen, der unter dem Druck von Millionen von Atmo-

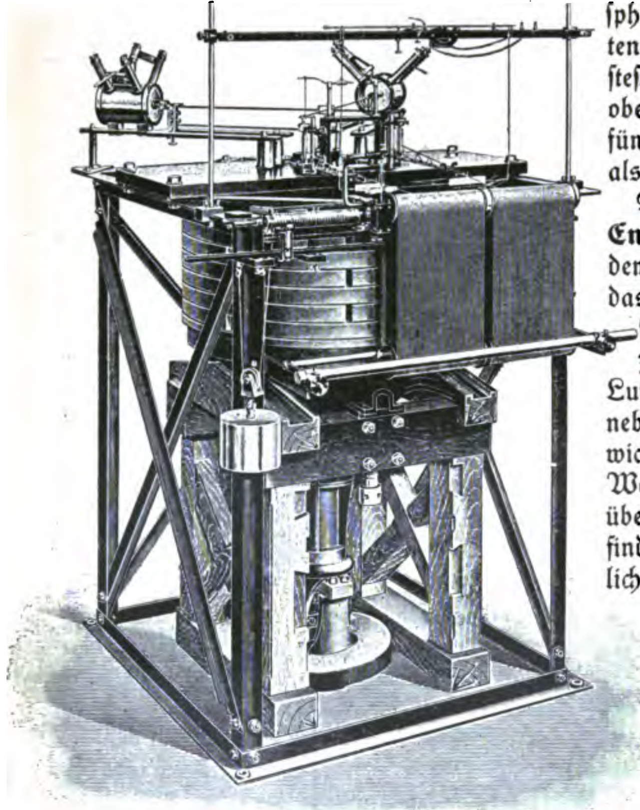


Abb. 8. Wiecherts astatisches Pendelseismometer.

sphären andere Eigenschaften aufweist als unsere festesten Körper an der Erdoberfläche. Er hat etwa fünfmal so große Starrheit als Stahl.

Das Gehör und seine Energieschwelle. Neben dem Tastsinn stellt auch das Gehör einen mechanischen Sinn dar, geeignet zur Aufnahme geringster Lufterschütterungen. Es ist neben dem Auge unser wichtigster Sinn, der die Welt des Schalles uns übermittelt. Seine Empfindlichkeit ist außerordentlich. Will man es in dieser Hinsicht mit anderen Sinnen und Instrumenten vergleichen, so bedarf es eines einheitlichen Maßes, und als solches kommt nur die Energie in Frage. Unter Energie verstehen wir einen Arbeitsvorrat, dessen Einheit in der Physik das Erg ist. Das ist die Arbeit, die man leisten muß, um etwa ein Milligrammgewicht 1 cm hoch zu heben. Es ist das eine außerordentlich kleine Arbeitseinheit, die in einem einzigen Augenaufschlag mehr als 100mal enthalten ist. Die Energieschwelle unseres Sinnes für Druckempfindung kann man etwa auf ein zehntausendtel Erg einschätzen. Die Energieschwelle der empfindlichsten Wage ist etwa ein hundertmilliontel Erg. Eine so geringe Schwelle besitzt auch das Ohr und das Auge.

Gleichwohl wird das Ohr in seiner Hörschärfe übertroffen durch den Fernsprecher, dessen Geheimnis aber nicht in einer an sich größeren Empfindlichkeit des Apparates beruht, sondern darin, daß die in elektrische Energie übertragene Schallenergie in Drähten zusammengehalten wird, während der Schall in der Luft nach allen Seiten hin zerstreut wird, und zweitens darin, daß die Schallenergie nicht mit ihrem geringen Betrage verwendet wird, sondern nur als Auslösung dient für bedeutend größere, in Elementen aufgespeicherte elektrische Energie.

Wahrnehmung von Richtungsunterschieden durch das Ohr und die künstliche Erweiterung dieses Richtungssinnes. Während nun das Ohr der Energieschwelle nach dem Auge gleichkommt und in der Fähigkeit, die Form der Wellen, hier also Töne und Klangfarbe, zu unterscheiden, dem Auge weit überlegen ist, so steht es doch in einem Punkte dem Auge gewaltig nach, das ist in der Fähigkeit, Richtungsunterschiede wahrzunehmen. Dieser Mangel ist aber weniger durch den Bau des Ohres als durch die Eigentümlichkeit der aufgenommenen Wellen bedingt. Die Schallwellen sind viel gröber als die Lichtwellen, d. h. die Länge ihrer Wellen ist viel größer; unter der Wellenlänge, z. B. einer Wasserwelle, versteht man eine Länge, die Wellenberg und Wellental umfaßt. Die Länge der wichtigsten Schallwellen beläuft sich auf Bruchteile eines Meters bis zu mehreren Metern. Die Wellenlänge des Lichtes bemißt sich dagegen nach einigen Zehntausendteln eines Millimeters.

Zur Beurteilung der Richtung, von der eine Welle herkommt, ist es erforderlich, daß eine genügende Zahl von Wellenlängen in dem Durchmesser des aufnehmenden Sinneswerkzeugs enthalten. Die Öffnung der Pupille beträgt nun einen bis einige Millimeter, sie ist also ungefähr 10000mal so groß als die Licht-

I. Vorläufer. II. Vorläufer. $8^h 0^m$ $8^h 10^m$

Abb. 9. Aufzeichnung eines Erdbebenmessers.

wellenlänge. 10000 Schallwellen nehmen aber bereits die Länge von einigen Kilometern ein. So groß müßte die Schallinse eines Ohres sein, um mit dem Auge in Vergleich treten zu können. Daher rührt es auch, daß unsere Schallmeßtrupps womöglich auf die Länge von einigen Kilometern verteilt werden mußten. Sie bildeten die künstliche Erweiterung des Gehör-Richtungssinnes.

Das Auge und die künstliche Erweiterung seiner Fähigkeiten. Wenden wir uns nun dem Auge zu, so muß dieses als der feinste, vielseitigste und umfangreichste Sinn bezeichnet werden. Stellt man sich vor, ein Blinder sollte allein mit dem Tastsinn den Umfang an Eindrücken aufnehmen, den das Auge mit einem Blick umfassen kann, so würde wohl das ganze Leben des Blinden zu dieser Aufgabe nicht ausreichen. Dieser Umfang der Eindrücke hat freilich den großen Nachteil, daß unsere geistige Fähigkeit, sie in all ihren Einzelheiten aufzubewahren, nicht Schritt hält. Es ist unmöglich, eine vielgestaltete Landschaft mit Häusern, Bäumen, Wiesen, Bergen mit einem Blick dauernd in all ihren Einzelheiten aufzunehmen.

Hier ist eine außerordentlich wichtige Erweiterung unserer Sinne das photographische Bild geworden. Das ist auch der Grund, weshalb unsere Flieger sehr bald von der Beobachtung durch das Auge zur Beobachtung durch die photographische Kammer übergegangen sind. Das aufbewahrte Bild kann nach dem Fluge in Ruhe in allen Einzelheiten durchforscht und ausgemessen werden.

Durch die letzten Beispiele insbesondere wird die außerordentliche Bedeutung der Erweiterung unserer Sinne durch Apparate ins richtige Licht gerückt. Ohr und Auge sind die wichtigsten natürlichen Instrumente, die dem Kampf ums Dasein dienen. Schon in der Tierwelt ist das Tier mit dem schärferen Auge und Ohr dem anderen überlegen. Es kann Beute und Feind zuerst erkennen und danach Angriff und Abwehr einrichten. Der aufrechte Gang gewährt dem Menschen eine große Weite des Gesichtsfeldes. Wieviel umfassender ist der Höhenblick des Fliegers! Deshalb spielten auch unsere Flieger und all unsere Fern-, Seh- und -Hörinstrumente im Kriege eine oft geradezu ausschlaggebende Rolle.

In wie hohem Maße ähnlich der künstliche Sinn dem natürlichen

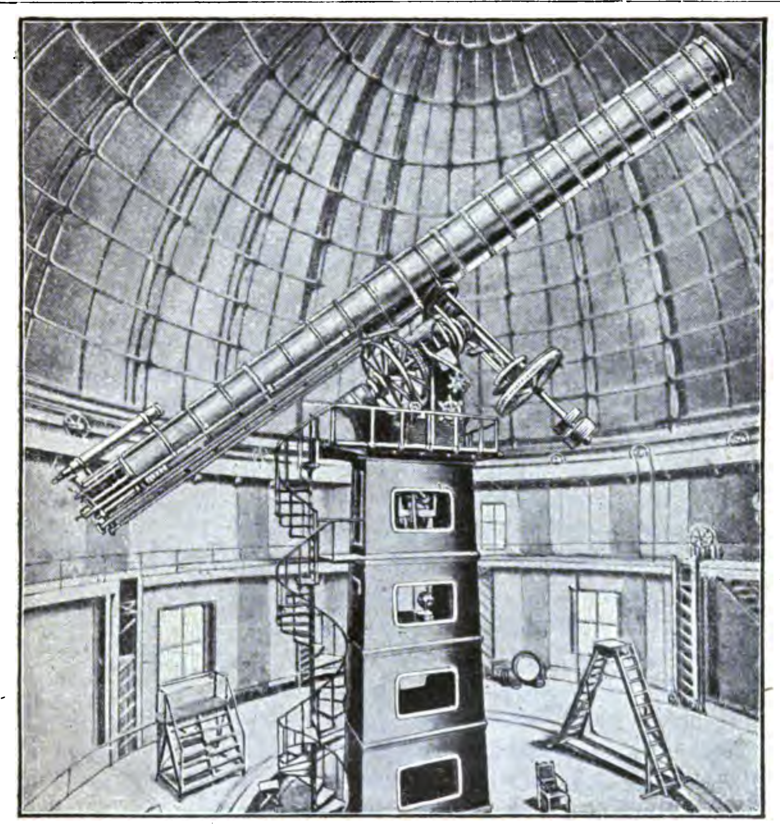


Abb. 10. Fernrohr der Lick-Sternwarte.

Sinn sein kann, mit welcher Berechtigung er daher als eine naturgemäße Erweiterung des natürlichen gelten darf, das geht daraus hervor, daß die natürliche Linse des Auges, die durch eine Staroperation hat entfernt werden müssen, ohne weiteres durch eine künstliche Linse ersetzt werden kann. Die optischen Instrumente sind aber nichts weiter als eine geeignete Zusammenstellung aus mehreren Linsen und Prismen.

Das Fernrohr des Astronomen liefert uns nicht bloß eine Vergrößerung, durch die uns die nahen Himmelskörper wie Sonne,

Mond und Planeten bis auf das Tausendfache nähergebracht werden; es bildet auch eine Erweiterung der Pupille, entsprechend dem derzeit bis auf 1 m steigerbaren Durchmesser seines Objektivs, wodurch die scheinbare Helligkeit der Fixsterne vergrößert wird. Das hat zur Folge, daß es den Bereich der sichtbaren Sterne außerordentlich vergrößert. Während dem unbewaffneten Auge nur etwa 5500 Sterne am ganzen Himmel sichtbar sind, erschließt ein Fernrohr, etwa wie das der Lick-Sternwarte (Abb. 10), deren schätzungsweise über hundert Millionen.

Das Mikroskop soll vor allem das natürliche Unterscheidungs- oder Auflösungsvermögen zweier benachbarten Punkte steigern. Während wir mit dem Tastsinn allein günstigstenfalls zwei auf 1 mm genäherte Zirkelspitzen getrennt wahrnehmen können, vermag das Auge noch zwei Striche von $^1/_{40}$ mm Abstand zu unterscheiden, die vom Auge 10 cm abstehen; unsere besten Mikroskope aber lassen noch zwei Striche von etwa ein zehntausendtel Millimeter getrennt erscheinen.

Die Wichtigkeit der Verschärfung unseres Sehsinnes läßt sich kaum überschätzen. Ist es doch das Mikroskop, das in den Händen des Naturforschers und Arztes die Höhe unserer ärztlichen Kunst ermöglicht hat. Ohne es wäre die Genauigkeit unserer Kenntnisse von den krankhaften Zuständen unseres Körpers, vor allem die Erkenntnis der schlimmsten Feinde des Menschengeschlechts, der Bakterien und anderer Kleinlebewesen, undenkbar. Die ärztliche Kunst ist aber eine wesentliche Voraussetzung für die Zunahme der Bevölkerungsdichte, und diese bedingt mittelbar ganz wesentlich die Höhe der Kultur.

Aber selbst diese außerordentliche Verfeinerung unseres Sehsinnes genügt noch nicht den Ansprüchen unserer heutigen Biologen. Zwar können sehr feine Gefüge der Zellen und die Einzelheiten der Befruchtung und Entwicklung, ja die Bedingtheiten der Vererbungsvorgänge in weitgehendem Maße erkannt werden, und doch bleiben noch wichtigste Einzelheiten auch dem schärfsten Mikroskop verborgen. Alles, was unter ein zehntausendtel Millimeter liegt, bleibt dem Mikroskop unerkennbar. Auf dieser Strecke finden aber noch über 100 Molekeln Platz. Ein Würfel mit ein zehntausendtel Millimeter Seitenlänge enthält also noch über eine Million Molekeln. Bedenkt man, daß alle feinsten Anlagen des Menschen in den Keimzellen vorgebildet sind, so

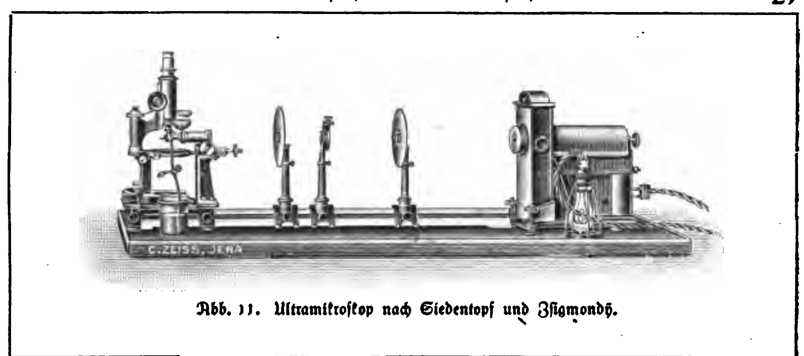


Abb. 11. Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy.

wird klar, wie außerordentlich unser Blick in die Tiefe der Entwicklungs- und Vererbungsvorgänge eindringen könnte, wenn unser künstliches Auge sich noch weiter verschärfen würde.

Da ist es wichtig, auf neue Hilfsmittel hinzuweisen, die unseren Blick in die Kleinwelt noch mehr vertiefen. Die Ursache der Grenzen der Leistungsfähigkeit der Mikroskope liegt, ganz ähnlich wie vorhin vom Ohr ausgeführt, nicht in einem Mangel der Feinheit des Mikroskops, sondern in der immer noch zu großen Wellenlänge des Lichts. Sie bedingt eine Abbeugung der Lichtwellen an den kleinsten Gegenständen, die die Schärfe der Abbildungen vermindern. Da kamen Siedentopf und Zsigmondy auf den Gedanken, gerade das abgebeugte Licht zur Untersuchung zu verwerten. Dabei wird, wie Abb. 11 zeigt, ein feines Lichtbüschel, dessen Licht selbst gar nicht in das Mikroskop eindringt, von der Seite her auf den zu untersuchenden Gegenstand, z. B. eine kolloidale Lösung, geworfen.

Nur die Kolloidteilchen geben Anlaß zu einer Abbeugung des Lichtes, das, in das Mikroskop fallend, ihr Vorhandensein und ihre Bewegung erkennen läßt. Freilich können die Form der Teilchen und ihre Einzelheiten im wesentlichen nicht erkannt werden, sie verhalten sich wie Fixsterne, deren Licht zu uns dringt, ohne daß uns ihre Scheibe oder gar ihre Einzelheiten erkennbar würden. Nur aus der Helligkeit des ins Mikroskop abgebeugten Lichtes kann man einen Schluß auf die Größe der Teilchen ziehen. Dabei ergibt sich, daß die kleinsten noch wahrnehmbaren Teilchen etwa fünf milliontel Millimeter Durchmesser haben. Das ist bereits eine Größe, die den Durchmesser der größten

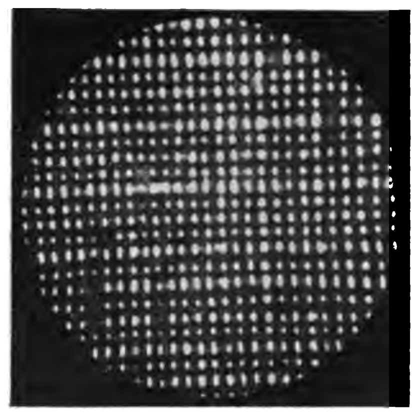


Abb. 12. Unverzerrtes Gewebe.

bekannten Eiweißmolekeln nicht viel übertrifft. Auf alle Fälle würde man mit einem solchen Ultramikroskop noch das Vorhandensein von Kleinlebewesen nachweisen können, die sich dem einfachen Mikroskop entziehen.

Das sind aber noch lange nicht die kleinsten Dimensionen oder Abmessungen, die die neuere Physik wahrnehmbar gemacht hat. Nach allem, was wir früher sahen, werden um so kleinere Abmessungen wahrnehmbar, je kleiner die Wellenlänge der benutzten Strahlung ist. Nun besitzen die Röntgenstrahlen die kleinste Wellenlänge von allen den dem Lichte verwandten Strahlungsarten. Ihre Größe beläuft sich nach neuesten Forschungen auf etwa ein milliontel Millimeter bis zum hunderten Teil eines milliontel Millimeters. Freilich fehlt den Röntgenstrahlen die Fähigkeit der Brechbarkeit, so daß man mikroskopähnliche Apparate bei ihnen nicht benutzen kann. Aber gerade die Eigenschaft, die dem gewöhnlichen Mikroskop verderblich ist, kann man wie bei den Lichtstrahlen im Ultramikroskop auch bei den Röntgenstrahlen anwenden. Um das benutzte Verfahren verständlich zu machen, erinnere ich an das bunte, strahlenförmige Beugungsbild, das man erhält, wenn man durch einen Sonnenschirm nach der Sonne sieht. In den Abb. 12 und 13 sieht man die Vergrößerung eines feinen Gewebes mit seinem Beugungsbild. Die Art des Beugungsbildes hängt von dem Bau des durchstrahlten Körpers ab, so daß man daraus einen Schluß auf diesen Bau ziehen kann. Verzerrt man das Gewebe (Abb. 14), so verzerrt sich auch das Beugungsbild (Abb. 15).

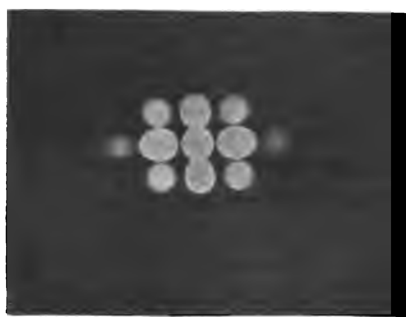
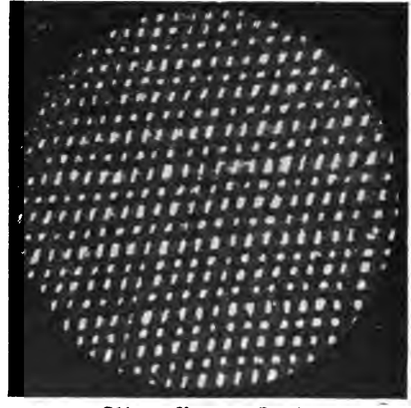
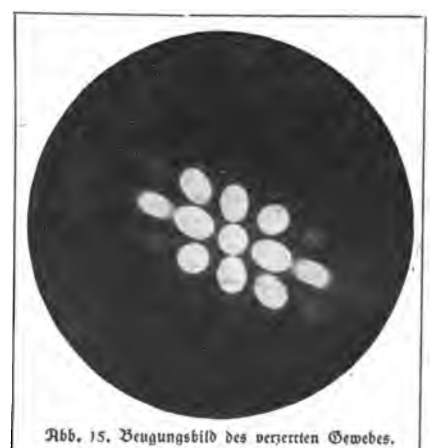


Abb. 13. Beugungsbild des unverzerrten Gewebes.


Abb. 14. Verzerrtes Gewebe.

Die Bedingungen für das Zustandekommen gut ausgebildeter Beugungserscheinungen sind die, daß die Abmessungen im Bau des beugenden Körpers ein wenig, aber nicht viel größer sein dürfen als die Wellenlänge der benutzten Strahlung. Laue legte sich die Frage vor, welches der Feinbau eines Körpers sein müsse, der mit Röntgenstrahlen eine Beugung ergeben könne. Die Antwort lautete: der Feinbau von Kristallen. Denn nach allem, was man von den molekularen Abmessungen der Körper wußte, hatte man anzunehmen, daß der Abstand der kleinsten Bausteine eines Kristalls sich auf einige Zehntel eines milliontel Millimeters belaufen müsse: und siehe da, das Experiment gelang. Abb. 16 zeigt ein Beugungsbild, das die Mitarbeiter von Laue mit Zinkblende gewannen, Abb. 17 ein anderes, das bei verbessertem Verfahren Rinne mit Anhydrit - das ist wasserfreier schwefelsaurer Kalk - erzielte. Das Bild weist entsprechend der verschiedenen Bauart des Kristalls andere Symmetrieverhältnisse auf wie die vorige Abbildung. Es bestätigt sich, was wir schon vorhin sahen, daß sich im Beugungsbild der Bau des durchstrahlten Körpers widerspiegelt; und so ist erreicht worden, was man früher für unmöglich hielt: die kleinsten Teilchen eines Körpers, die Atome, wenn nicht unmittelbar zu sehen, so doch ebensogut sichtbar zu machen wie die Maschen im Gewebe eines Sonnenschirmes durch ihr Beugungs-


Abb. 15. Beugungsbild des verzerrten Gewebes.

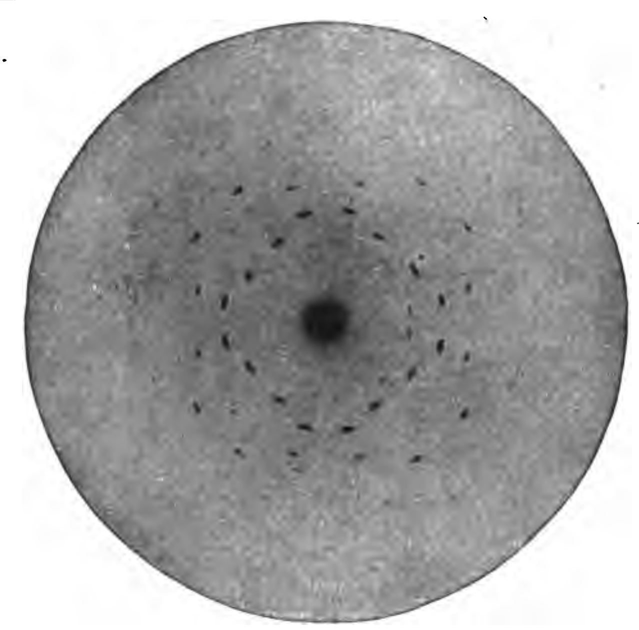


Abb. 16. Röntgenbeugungsbild an Zinkblende nach Friedrich, Knipping und Laue.

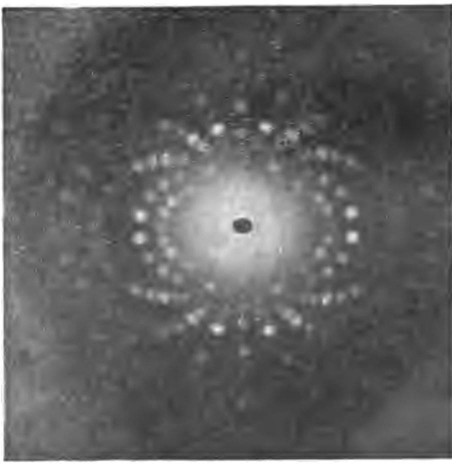


Abb. 17. Röntgenbeugungsbild an Anhydrit nach Rinne.

bild. Das Ergebnis dieser Forschungen war die Feststellung der Tatsache, daß die Bausteine eines Kristalls nicht immer seine Molekeln, wie man früher vermutet hatte, sondern zumeist seine Atome selbst sind, die genaue Bestimmung der Abstände der Atome und ihrer Anordnung und endlich die genaue Bestimmung der Wellenlänge der benutzten Röntgenstrahlen. Eine ganz neue Kleinwelt hat sich durch diesen Röntgensehsinn uns erschlossen. Ob er uns auch den Blick in den Feinbau der lebenden Materie eröffnen wird, das zu entscheiden bleibt der Zunkunft vorbehalten.

Schon die ersten Entdeckungen von Röntgen selbst hatten dazu geführt, das Unsichtbare sichtbar zu machen, freilich durch ein viel einfacheres Verfahren. Denn die allgemein bekannten Röntgenbilder sind nichts anderes als Schattenbilder, bedingt dadurch, daß die Schattenwerfung oder Absorption der Röntgenstrahlen bestimmt wird durch den Grad der Dichte der durchstrahlten Körper.

Während aber die Unsichtbarkeit der Knochen im menschlichen Körper durch dessen mangelnde Gleichförmigkeit bei verhältnismäßig großer Dichte bedingt ist, kann auch ein Körper dadurch unsichtbar sein, daß er, wie die Luft und farblose Gase, zu wenig dicht ist. Für den Physiker und für den Ballistiker ist es von großer Wichtigkeit, auch die inneren Vorgänge in der Luft sichtbar zu machen, wenn sie vom Schall oder von einem Geschoß durchsetzt wird. Das höchst sinnreiche Verfahren, diese zarten Vorgänge zu belauschen, verdanken wir August Töpler und Ernst Mach. Es beruht auf der Sichtbarmachung von Luftschlieren. Solche Schlieren kann man wahrnehmen in heißer Luft, die aus einem Schornstein aufsteigt, oder auch in der von dem sonnenbestrahlten Boden aufsteigenden Luft. Besonders scharf werden die Schlieren, genau wie der Schlagschatten, wenn die benutzte Lichtquelle möglichst punktförmig ist.

Bei Vorgängen, die aber so rasch wie der Schall und der Schuß vor sich gehen, bedarf es noch eines besonderen Hilfsmittels. Verlangt man z. B., daß die bewegte Kugel sich während der Beobachtungszeit auch nur um 1 mm verschieben darf, so darf die Beleuchtung für ein mit 1000 m in der Sekunde bewegtes Geschoß nur eine milliontel Sekunde andauern. Denn innerhalb dieser Zeit verschiebt sich die Kugel gerade um 1 mm. Eine solche Kürze der Dauer besitzt unter günstigen Umständen der elektrische Funke.

Es bedarf aber noch eines weiteren Kunstgriffes, um die Kugel gerade in dem Augenblick zu sehen oder photographisch abzubilden, wo sie sich an dem Orte befindet, auf den der Beobachtungsapparat eingestellt ist. Abb. 18 zeigt, wie das Geschoß, bevor es vor die abbildende Linse kommt, an einem Rohr *r* vorbeistreicht, dessen Luft es gegen eine Flamme bläst. Die zur Seite geblasene Flamme löst bei passender Wahl der Rohrlänge die Entladung der Leidener Flasche *F* und damit den Funken bei *a* gerade dann aus, wenn das Geschoß sich in der Mitte des Sehfeldes befindet.

Abb. 19 zeigt die Luftschliere, die ein mit Überschallgeschwindigkeit bewegtes Geschoß mit sich führt. Das Bild erinnert an die Bugwelle eines Schiffes oder etwa eines schwimmenden Schwanes, deren Geschwindigkeit die Geschwindigkeit der Wasserwellen übertrifft. Diese Geschoßwelle, auch Kopfwelle genannt, pflanzt sich also mit Geschoßgeschwindigkeit fort, ein Umstand, der für die Entfernungsmessung des feuernden Geschützes von größter Bedeutung ist. Denn er verhindert, daß man die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kopfwelle gleich der Schallgeschwindigkeit annehmen darf. Man entgeht dieser Schwierigkeit, indem man sein Augenmerk nicht auf diese Kopfwelle, sondern auf die gewöhnliche Schallwelle richtet, die von der Geschützmündung ausgeht.

Die künstliche Erweiterung des Zeitsinnes. Im vorliegenden Fall ist die Unsichtbarkeit des Luftvorgangs nicht bloß durch die Dünne der Luft, sondern auch durch die Geschwindigkeit des Vorgangs bedingt. Das photographische Verfahren, das diese letzte Schwierigkeit überwindet, kann also zugleich zur Zeitmessung benutzt werden. Und hiermit komme ich zur künstlichen Erweiterung unseres Zeitsinnes. Im günstigsten Falle kann der Mensch noch Zeitunterschiede von einer fünfhundertel Sekunde unmittelbar wahrnehmen, während er bei Messung von Zeitstrecken leicht Fehler von einigen zehntel Sekunden macht. Das allgemeine Verfahren, die Zeitmessung zu verfeinern, beruht darin, daß man die Wegstrecke eines rasch bewegten Körpers mißt. So bei dem Hippschen Chrono-

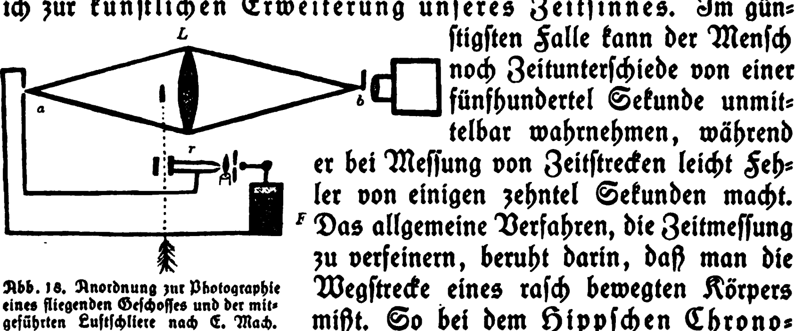


Abb. 18. Anordnung zur Photographie eines fliegenden Geschosses und der mitgeführten Luftschliere nach E. Mach.

skop, das Abb. 20 zeigt. Durch ein Räderwerk wird dabei ein Zeiger rasch umgedreht, der eine tausendtel Sekunde noch anzeigt.

Dieses Instrument erwies sich als vorzüglich geeignet, die Zeitdauer der in menschlichen Nerven sich abspielenden Vorgänge, die Reaktionszeiten, zu messen. Zwischen dem Augenblick z. B., in dem der Astronom einen Stern durch das Fadenkreuz des Fernrohrs ziehen sieht, und dem Augenblick, in dem er durch einen Taster die Zeit elektrisch aufschreibt, verfließt eine Zeit, die sich bis auf mehrere zehntel Sekunden bemißt. Man nennt sie den persönlichen Fehler. Die Schlagfertigkeit des Beobachters kann also dadurch gemessen werden, und da vom Kraftwagenfahrer und dem Flugzeugführer im raschen Antworten auf äußere Eindrücke eine solche gefordert wird, so kann man durch derartige Apparate die Geeignetheit von Personen zu dieser verantwortungsvollen Tätigkeit wenigstens in diesem einen Punkte untersuchen.

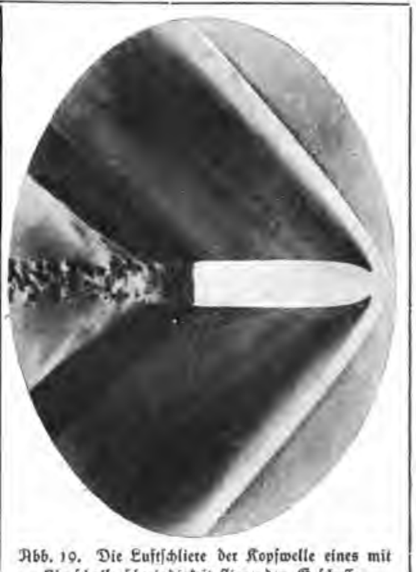


Abb. 19. Die Luftschliere der Kopfwelle eines mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Geschosses nach E. Mach.

Für die Messung kleinerer Zeiten ist das Hippsche Chronoskop ungeeignet. Statt eines stofflichen Zeigers hat man dann einen Lichtzeiger zu benutzen, der durch einen rasch umlaufenden Spiegel in das Auge oder auf die photographische Platte geworfen wird. Dieses Verfahren ist von Wheatstone und Feddersen benutzt und zurzeit auf eine Empfindlichkeit gebracht worden, die etwa den hunderten Teil einer milliontel Sekunde noch zu messen gestattet. Mit diesem Verfahren hat Wheatstone die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektrischer Ströme entlang von Drähten gemessen, Feddersen die Zeitdauer elektrischer Schwingungen, die bei der Entladung von Leidener Flaschen durch einen Funken auftreten, durch dessen Lichtschwankungen sie sich verraten.



Abb. 20. Hippsches Chronoskop.

Abb. 21 zeigt die Anordnung der Feddersenschen Versuche. Die Funkenstrecke *p* wird durch den umlaufenden Hohlspiegel *a* auf die photographische Platte *P* geworfen. Abb. 22 zeigt das durch den Spiegel ausgezogene Lichtband, in dem man deutlich die Unterbrechungen wahrnimmt, durch deren Länge man die Schwingungsdauer der Entladung messen kann. Sie bemaß sich nach zehntausendteln von Sekunden. Es waren das Schwingungen von derselben Art und ungefähr derselben Dauer, wie sie heute bei der drahtlosen Telegraphie benutzt werden.

Läßt man die Teilbilder einer auf solche Weise oder auch mit einem Kinematographen gewonnenen Aufnahme mit verlangsamtem Zeitmaß durch den Kinematographen wiedergeben, so rollt sich der ohne weiteres nicht auflösbare Vorgang langsam in all seinen Einzelzuständen übersehbar vor dem Auge ab. Freilich muß dann die Geschwindigkeit der Aufnahmenfolge besonders groß sein, damit die verlangsamte Wiedergabe nicht in eine Reihe ruhend erscheinender Bilder zerfällt. H. Lehmann ist es geglückt, bis zu 500 Aufnahmen in der Sekunde zu erzielen, die eine zwanzigfach verlangsamte Wiedergabe gestatten, und er hat daher mit Recht einen solchen Apparat als Zeitlupe oder Zeitmikroskop benannt. Erstaunlich ist der Anblick solcher Bilder, z. B. eines

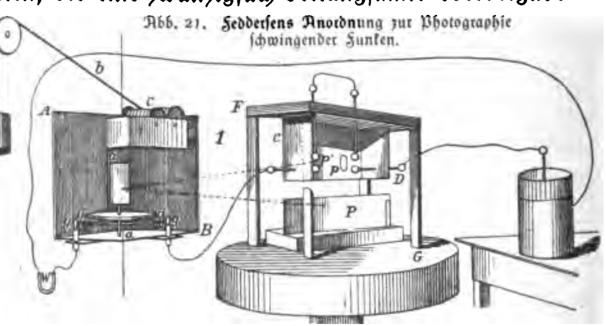


Abb. 21. Feddersens Anordnung zur Photographie schwingender Funken.

das Hindernis nehmenden Pferdes, wie es langsam sich aufrichtet, um gemächlich über das Hindernis hinüber zu schweben. Beispiele solcher Auflösung, freilich noch mit langsamerer Aufnahmenfolge hergestellt, zeigen die Abb. 23 bis 25. Abb. 23 stellt die Zustände eines fallenden und dabei in Schwingungen geratenden Tropfens dar nach einer Aufnahme von Lenard, Abb. 24 die eines Milchtropfens, der auf Wasser fallend es zum Ausspritzen bringt nach Worthington, und Abb. 25 eines fliegenden Kakadus nach Muybridge. Auf diesem Wege hat besonders Marey uns die Bewegungen der Tiere genauer kennen gelehrt, Braune und O. Fischer den Gang des Menschen. So sind uns durch die Zeitlupe eine ganze Reihe höchst lehrreicher und reizvoller Bewegungsvorgänge erschlossen worden.

Neben der Bedeutung der Zeitvergrößerung hat zuerst wohl E. Mach auch auf die der Zeitverkleinerung aufmerksam gemacht. Vorgänge, wie das Wachstum einer Pflanze, werden unserem Verständnis näher geführt, wenn man beim Bewegungsbild in einer Minute sich zusammendrängen läßt, was in Wirklichkeit in Wochen erfolgt. So sieht man, wie eine Knolle zugleich Wurzel und Stengel treibt, wie Blüten sich entfalten und diese, sich nach dem Lichte wendend, dem Umlauf der Sonne folgen. Man hat neuerdings das Verfahren als Zeitraffer bezeichnet und es im Unterricht verwendet.

Die Erweiterung des Farbensinnes. Wir kehren zurück zur Betrachtung der Erweiterung unseres Sehsinnes, wovon wir ausgegangen waren. Er umfaßt auch den Farbensinn, der im Spektrum etwa 500 verschiedene Farben als voneinander verschieden zu erkennen vermag. Die künstliche Erweiterung des Farbensinnes bietet der Spektralapparat, der die Farben des weißen Lichtes durch Prismen oder Beugungsgitter auseinanderlegt. Die besten Rowlandschen Gitter lassen im Spektrum statt

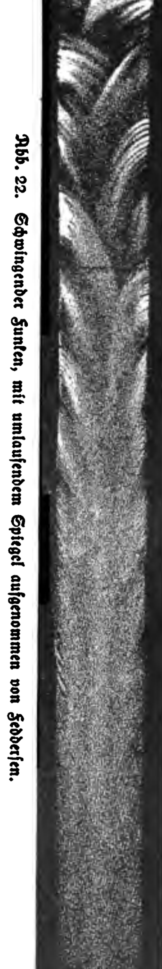


Abb. 22. Schwingender Funken, mit umlaufendem Spiegel aufgenommen von Feddersen.

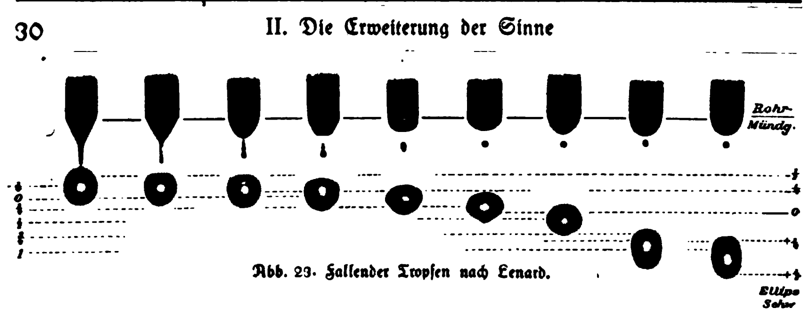


Abb. 23. Fallender Tropfen nach Lenard.

der 500 etwa 40000 Farben als voneinander verschieden auseinander treten. Der geringste Wellenlängenunterschied der dabei zu trennenden Farben beträgt etwa den hunderten Teil eines milliontel Millimeters. Die zehnfache Empfindlichkeit besitzen neuere Stufengitterapparate von Michelson und anderen.

Untersuchungen mit solchen Apparaten gewähren einen tiefen Einblick in den Bau leuchtender Molekeln oder Atome. Man hat dadurch feststellen können, daß ein Atom, weit davon entfernt, einfach zu sein, in Wirklichkeit den Bau eines kleinen Planetensystems aufweist, in dem ein verhältnismäßig feststehender positiv geladener Kern von geringmassigen negativ elektrisch geladenen Teilchen, von den Elektronen umkreist wird, die bei Abstandsänderungen vom Kern den Anlaß zur Lichtausstrahlung geben. Dabei haben besonders die theoretischen Untersuchungen von Bohr und Sommerfeld wichtige Aufklärungen gebracht. Doch gehören diese Betrachtungen schon mehr zu dem, was unter der „Erweiterung des Geistes" zu erörtern sein wird.

Jene zahlenmäßige Erweiterung des Farbensinnes wird aber noch weit übertroffen durch die Ausdehnung der Farbenarten im übertragenen Sinne. Denn zu beiden Seiten des sichtbaren Spektrums dehnt sich ein teilweise und ein vollständig unsichtbarer Bereich von Strahlungen aus: jenseits des Violetten die kürzerwelligen ultravioletten Strahlen, jenseits des Roten die längerwelligen ultraroten.

Die ultravioletten Strahlen werden durch Fluoreszenz, Phosphoreszenz oder Photographie sichtbar gemacht. Sie werden in besonderer Stärke vom elektrischen Lichtbogen ausgesandt, insbesondere von der zuerst von Arons gebauten Quecksilberlichtbogenlampe. Um möglichst wenig von diesen Strahlen zu verlieren, bringt man das Quecksilber in eine Quarzröhre, die den ultravioletten Strahlen einen besseren Durchgang

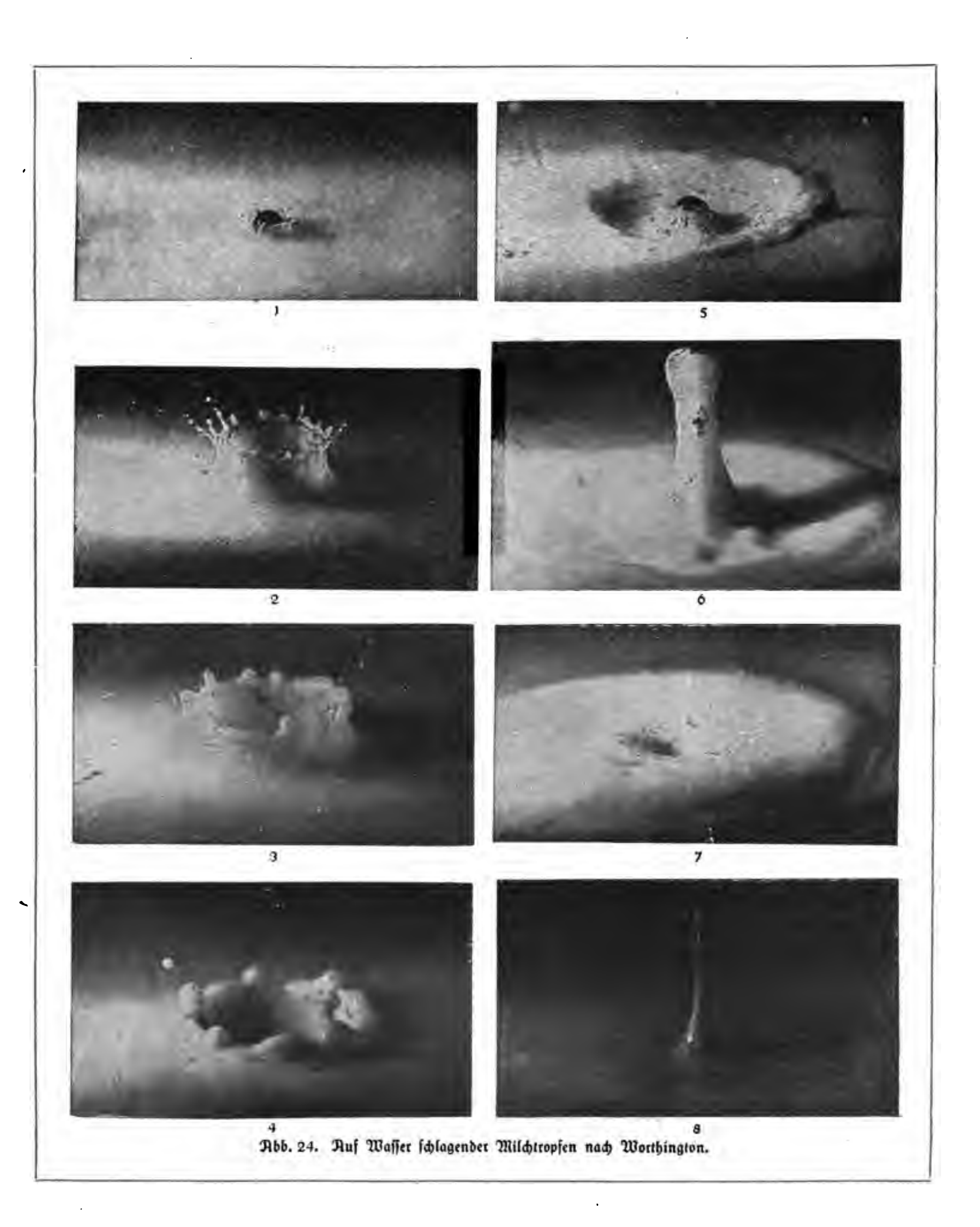


Abb. 24. Auf Wasser schlagender Milchtropfen nach Worthington.

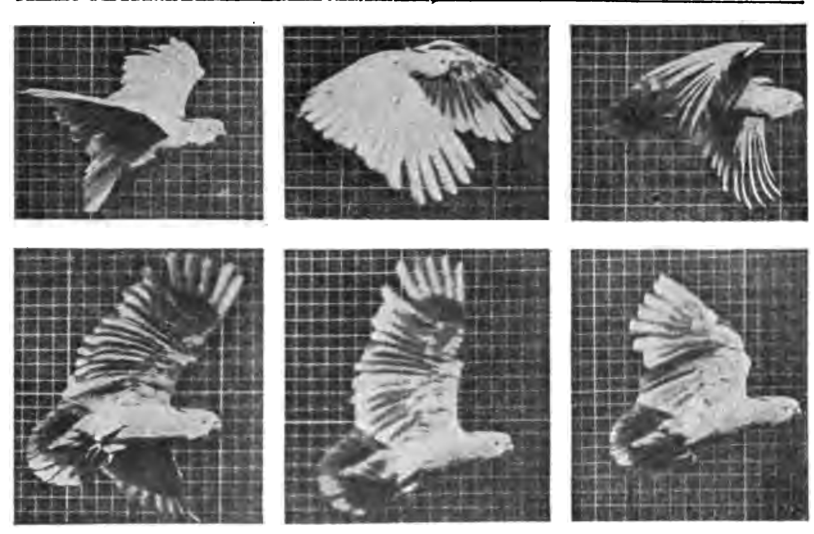


Abb. 25. Fliegender Kakadu nach Muybridge.

als Glas gewährt. Sie haben sich neuerdings als heilspendend erwiesen gegen Wunden und insbesondere tuberkulöse Erkrankungen.

Während die Wellenlängen des Bereichs des sichtbaren Spektrums sich etwa von 800 bis 400 milliontel Millimeter erstrecken und, akustisch gesprochen, eine Oktave umfassen, reichen die bisher erforschten ultravioletten Strahlen bis etwas über 100 milliontel Millimeter hinaus, so daß damit zwei ultraviolette Oktaven erschlossen sind. Von da ab verbietet die außerordentliche Verschluckung oder Absorption der Körper die weitere Untersuchung. Wie wir bereits sahen, beginnt aber bei etwa ein milliontel Millimeter Wellenlänge der Bereich der Röntgenstrahlen, die man als ultra-ultraviolette Strahlen bezeichnen könnte.

Die ultraroten Strahlen werden außer durch Photographie und Phosphoreszenz besonders durch ihre Wärmewirkung sichtbar gemacht. Sie sind zuerst von Herschel entdeckt worden, der ein geschwärztes Thermometer jenseits des Roten im Spektrum aufstellte, wo dem Auge unsichtbar die Strahlen das Thermometer erwärmten. Die Messung wird also hier auf eine Temperaturmessung zurückgeführt.

Die Erweiterung des Temperatursinnes. Dies gibt uns den Anlaß, den menschlichen Temperatursinn ins Auge zu fassen. Seine Unterschiedsschwelle liegt etwa bei $1/5^0$ C. Unsere empfindlichsten Quecksilberthermometer, wie sie insbesondere von Beckmann gebaut wurden, lassen etwa $1/1000^0$ C messen. Bis über etwa ein milliontel Grad Celsius hinaus reichen elektrische Thermometer. Bei diesen Instrumenten fällt die Wärmestrahlung auf ein Bolometer, das ist ein sehr dünnes geschwärztes Platinblech, das sich dabei erwärmt und eine Änderung seines elektrischen Leitungswiderstandes erfährt. Diese läßt sich wieder durch empfindliche Galvanometer messen, von denen später noch die Rede sein wird. Etwa zehnmal soweit reicht die Empfindlichkeit des Thermoelements in der Form des „Radiometers".

Lange Wärmewellen und elektrische Wellen. Außerordentlich ist die Erweiterung des Wellenlängenbereiches, der durch Verfahren ähnlicher Art zugänglich gemacht wurde. Die längsten, von Rubens entdeckten Wärmewellen haben eine Größe von etwa 300000 milliontel Millimeter, das ist also rund $1/3$ mm. Damit ist ein ultrarotes Spektrum von über 8 Oktaven erschlossen. Von hier ab beginnt ein neues Gebiet ultraroter Strahlung, das in Form elektrischer Strahlen erzeugt und gemessen wird. Es reicht von $1/10$ mm langen Wellen, mit denen neuerdings W. Möbius den Anschluß an die Wärmewellen gefunden hat, bis in den Bereich von Kilometerlänge, die von Großstationen der drahtlosen Telegraphie benutzt werden. Doch besteht nach oben hin überhaupt keine bestimmte Grenze der Länge elektrischer Wellen.

Mit diesem außerordentlichen Bereich verschiedenartiger Strahlung ist also eine Welt erschlossen, die unseren Sinnen unmittelbar gar nicht zugänglich ist. Aber diese Strahlungen haben doch noch Verwandtschaft mit dem Licht, das dem Auge zugänglich ist.

Weitere Ersatzmittel des Auges. Ehe wir vom Sehsinn Abschied nehmen, erscheint es angezeigt, unsere Aufmerksamkeit den Ersatzmitteln dieses Sinnes zuzuwenden, die ihm zwar an Empfindlichkeit nachstehen, aber in anderer Hinsicht Leistungen ermöglichen, die das Auge allein nicht vollbringen kann.

Im Jahre 1873 entdeckte May, ein Gehilfe des Ingenieurs Willoughby Smiths, der das Selen wegen seines großen spezifischen Widerstands bei Kabelmessungen verwenden wollte, die wunderbare

Eigenschaft dieses Metalls, unter dem Einfluß einer Belichtung das elektrische Leitvermögen hinaufzusetzen. Es ist dadurch die Möglichkeit gegeben, Stromänderungen in einem das Selen enthaltenden Stromkreise herbeizuführen, die, sei es an Ort und Stelle, sei es in der Ferne, sichtbare oder hörbare Zeichen geben können. So ist es neuerdings mit besonderem Erfolge Korn gelungen, mit Hilfe einer sinnreichen Vorrichtung, die hier nicht weiter beschrieben werden soll, Bilder in die Entfernung zu übertragen. Auch das Fernsehen ist auf ähnlichem Wege möglich und mehr eine Frage der Kosten als der grundsätzlichen Ausführbarkeit.

Es ist einleuchtend, daß das Selen auch dazu dienen kann, Bewegungsvorrichtungen auszulösen, ohne daß des Menschen Auge und Arm in Anspruch genommen zu werden brauchten. So hat Ruhmer einen selbsttätigen Laternenschalter erfunden, der bei einer bestimmten Dunkelheit die Laternen anzündet und sie bei wiedereintretender Helligkeit auslöscht. Derselbe Physiker hat das Selen zu einer Schallübertragung durch das Licht benutzt, die freilich jetzt angesichts der großen Erfolge des drahtlosen Fernsprechens durch elektrische Wellen nur noch einen geschichtlichen Reiz besitzen.

Grundsätzlich kann die Selenzelle dem Blinden das Auge ersetzen, indem sie Lichtzeichen in Schallzeichen umsetzt. So hat man schon daran gedacht, ihm auf diesem Wege das Lesen gewöhnlicher Schrift zu ermöglichen. Aber auch hier stehen vorläufig die großen Kosten einer solchen Vorrichtung ihrer tatsächlichen Ausführung hindernd im Wege. Doch wird man diese Möglichkeit für die Zukunft im Auge behalten müssen.

Ein anderer Ersatz des Sehsinns ist die Elster- und Geitelsche Kaliumzelle. Dieses Metall besitzt, besonders im kolloidalen Zustand, die Fähigkeit, durch Belichtung im Vakuum Elektronen abzugeben – Hallwachs-Erscheinung – und so Ladungsschwankungen in einem mit der Zelle verbundenen Elektrometer hervorzubringen. Der bedeutende Vorteil dieser Zelle beruht nun in der großen Genauigkeit, mit der die Elektrometerschwankungen in festem Verhältnis zu den Lichtschwankungen stehen. Es ist dadurch möglich, Lichtstärken mit ungefähr zehnmal so großer Genauigkeit zu vergleichen, als das mit dem Auge oder der photographischen Platte möglich wäre. Diese Zelle ist neuerdings

besonders von Guthnick zur Helligkeitsbeobachtung von Sternen benutzt worden. Insbesondere ist dadurch eine ganz neue Klasse von lichtveränderlichen Sternen entdeckt worden, die Kunde bringen von raschen Umläufen von Doppelsternen und ihren physikalischen Veränderungen, die bisher nicht oder bei weitem nicht in solchem Maße beobachtet werden konnten. Es sind dadurch der Astronomie ganz neue Gebiete der Forschung erschlossen worden. Auch in der Physik hat das neue Werkzeug zu neuen Erfolgen geführt.

Der künstliche magnetische Sinn. Lenken wir unsern Blick jetzt auf die Welt der magnetischen Vorgänge, so besitzen wir für diese unmittelbar überhaupt keinen natürlichen Sinn. Wir schließen nur auf diese Vorgänge durch die Bewegungen von Eisenkörpern in der Nähe von Magneten. Hier tritt der allgemeine Grundsatz, mit dem wir die Erweiterung der Sinne vornehmen, deutlich zutage. Wo die unmittelbare Wirkung auf unseren Körper versagt, beobachten wir mittelbare Wirkungen, die unseren Sinnen zugänglich sind.

Es ist nicht ohne Reiz sich auszumalen, was wir erleben würden, wenn uns ein unmittelbarer magnetischer Sinn eigen wäre. Kreidl hat es fertig gebracht, Krebsen einen magnetischen Sinn einzuimpfen, einen Sinn, der, soviel wir wissen, unmittelbar nirgends in der Tierwelt vertreten ist. Kreidl knüpfte an die Beobachtung an, daß frisch gehäutete Krebse sich Steinchen ins Ohr stecken, die auf Fühlhärchen wirkend das Gleichgewichtsorgan des Krebses ausmachen. Ähnliche Steinchen, Otolithen genannt, befinden sich auch im Ohr des Menschen, in Nachbarschaft des eigentlichen Gehörorgans. Indem die Steinchen in Richtung der Schwerkraft auf die Fühlhärchen wirken, zeigen sie die Richtung der Schwerkraft an. Kreidl bot nun den Krebsen statt Steinchen Eisenpulver dar und siehe da, sie begnügten sich auch mit diesem Stoff. Brachte man nun einen Magneten in die Nähe der Krebse, so stellten sie sich senkrecht zur Summe der Schwer- und magnetischen Kraft ein.

Neuerdings hat man in veränderter Form die Versuche am Menschen wiederholt. Köhler klebte kleine Eisenteilchen auf das Trommelfell, das dadurch die Fähigkeit bekam, die Schwankungen der magnetischen Kräfte in einem Telephonmagneten dem Ohr als Ton erkennbar zu machen.

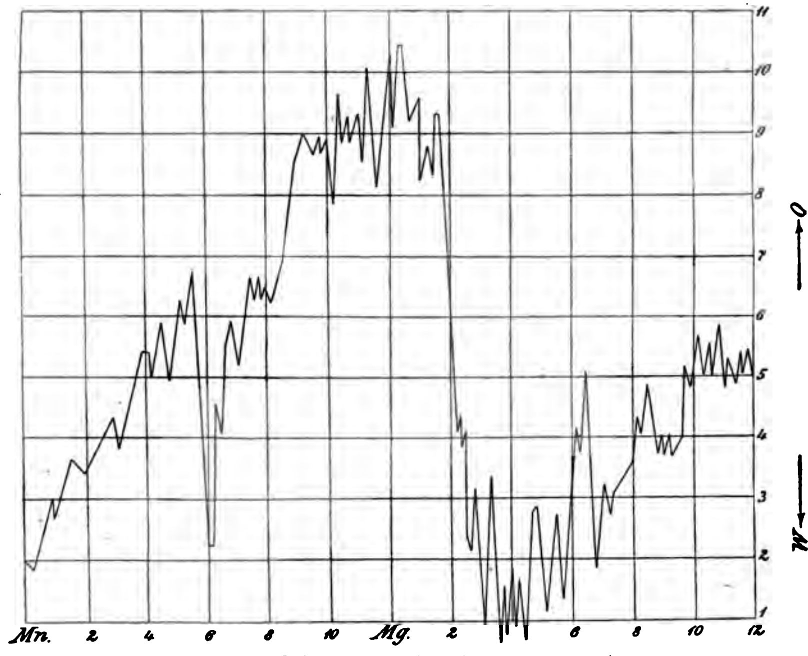


Abb. 26. Magnetisches Gewitter.

Mit einem geeigneten magnetischen Sinne würden wir unmittelbar die **magnetischen Gewitter** wahrnehmen, die häufig mit starken Nordlichtern verbunden sind und die wir in Wirklichkeit durch den künstlichen magnetischen Sinn, einen magnetischen Spiegel, wahrnehmen, der seine Schwankungen mit Hilfe eines Lichtzeigers auf ein vorbeilaufendes photographisches Papier aufzeichnet. In Abb. 26 sieht man, wie innerhalb vier Stunden die Richtung der Magnetnadel sich um etwa 10^0 verändert hat.

Der künstliche elektrische Sinn. Auch für elektrische Vorgänge besitzen wir keinen unmittelbaren Sinn, wenngleich unser Gefühlsorgan wenigstens durch elektrische Ströme gereizt werden kann. Aber es ist dazu eine Energie von mindestens 20 Erg erforderlich, während unsere elektrischen Instrumente Energien von unter einem billiardtel Erg noch erkenntlich machen. Das ist eine Reizschwelle, die mehr als zehnmillionenmal so klein ist als die von Auge und Ohr.

Am bekanntesten sind die Instrumente, die elektrische Ströme anzeigen: Galvanoskope und Galvanometer. Abb. 27 zeigt ein Galvanometer neuerer Art, wie es nach Thomsons Vorgang von Dubois und Rubens und neuerdings von Paschen gebaut wurde. Je zwei eng gewickelte stromdurchflossene Spulen wirken auf zwei leichte Magnetsysteme.

Diese bestehen aus kleinen Magnetstäbchen, die auf Glimmerblättchen aufgeklebt sind. Die beiden entgegengesetzt angeordneten Magnetsysteme bilden eine astatische Nadel, in deren Mitte sich ein Spiegelchen befindet, dessen Drehung einen Lichtzeiger auf einer Skala verschiebt, die mit Fernrohr abgelesen wird. Man kann mit solchen Instrumenten noch Ströme von weniger als ein zehnmilliardtel Ampere messen. Um eine Vergleichsgröße anzugeben, bemerke ich, daß der Faden einer Glühlampe von einem bis einigen zehnteln Ampere durchflossen wird.


Abb. 27.
Galvanometer von Dubois und Rubens.

Noch mehr als hundertmillionenmal so schwache Ströme kann man messen mit Hilfe von Elektrometern, die die elektrostatischen Kräfte geladener Blättchen durch deren Bewegung anzeigen. Ihre Energieschwelle liegt, wie oben schon angegeben, bei etwa ein billiardtel Erg. Abb. 28 zeigt ein Instrument, wie es hauptsächlich zur Beobachtung radioaktiver, d. h. nach Art des Radiums wirksamer Vorgänge benutzt wird. *L* stellt ein Goldblättchen dar, das bei einer Aufladung seine Stellung ändert infolge der elektrischen Kraft, die es von der auf eine bestimmte Spannung geladenen Platte *P* erfährt.

Noch wohl hunderttausendmal so empfindlich als Elektrometer solcher Art sind hinsichtlich ihrer Eigenschaft Elektrizitätsmengen zu messen neuerdings von Ehrenhaft und Milli-

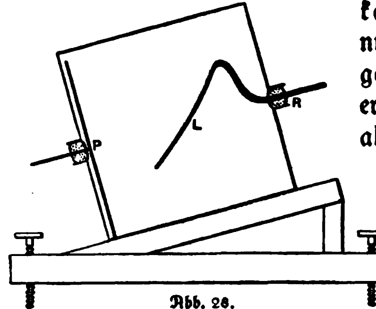


Abb. 28.
Geneigtes Elektrometer nach Wilson.

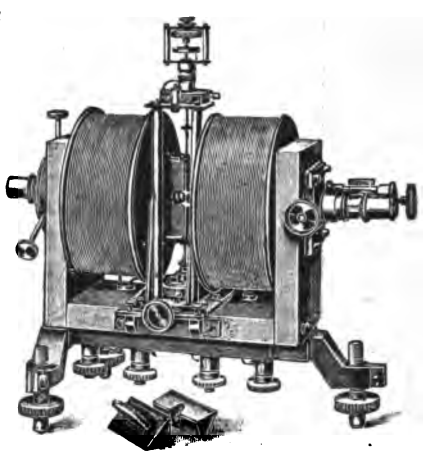
kan zusammengestellte Instrumente, bei denen nur mikroskopisch noch sichtbare geladene Kügelchen in einem elektrischen Felde schwebend erhalten werden. Sie können zu gleicher Zeit als Wagen allerfeinster Art gelten, die noch Gewichte von ein billiontel mg nachzuweisen gestatten, also die früher erwähnten empfindlichsten Wagen noch etwa hunderttausendfach an Empfindlichkeit übertreffen.

Wie wenig wir durch den Mangel eines unmittelbaren elektrischen Sinnes beeinflußt werden, ergibt sich aus dem Umfange der heutigen Elektrizitätslehre, die den größeren Teil aller überhaupt bekannten physikalischen Vorgänge ausmacht, ja grundsätzlich zurzeit die ganze Physik in sich aufgenommen hat. Die ganze Welt der Elektrizität ist uns erschlossen worden mit Hilfe künstlicher Sinne.

Es lohnt sich, kurz Einblick zu nehmen in die elektrischen Vorgänge, die das Galvanometer im menschlichen Körper erschlossen hat. Der Schlag unseres Herzens ist mit so starken elektrischen Strömen verknüpft, daß sie an beliebiger Stelle, z. B. an den beiden Händen, abgenommen und untersucht werden können. Freilich bedarf es, da diese Ströme rasch wechseln, eines Instrumentes, das ihnen ebenso rasch folgen kann. Dazu benutzt man nach Einthoven dünne Metallfäden von wenigen tausendtel Millimeter Durchmesser, die sich zwischen den Polen eines starken Elektromagneten stromdurchflossen bewegen (Abb. 29). Die nur geringfügige Bewegung wird, durch ein starkes Mikroskop vergrößert, auf einem photographischen Papier aufgezeichnet. Die aufgenommenen Kurven (Abb. 30), die Herzschrift, bezeichnet der Mediziner als Elektrokardiagramm. Ihre Unregelmäßigkeiten - obere Kurven in Abb. 30 - deuten Herzkrankheiten an; ja man kann aus einer solchen Herzschrift die Schwangerschaft einer Frau erkennen, da das keimende Kind einen von der Mutter unabhängigen Herzschlag zeigt.

Selbst Gemütserregungen sind mit Schwankungen der elektrischen Spannung zweier Körperstellen verbunden. Diese Schwankungen haben Tarchanow und Sticker mit empfindlichen Galvanometern untersucht

und Galvanometerausschläge beobachtet auf akustische, optische und sonstige Reize, wobei der Grad der geistigen Anteilnahme an einem ausgerufenen Wort nicht ohne Einfluß blieb. Man kann dieses Verfahren als **elektrisches Gedankenlesen** bezeichnen.


Abb. 29. Saitengalvanometer mit Elektromagnet nach Einthoven.

Die Welt der radioaktiven Vorgänge. Das Elektroskop hat uns in letzter Zeit eine ganz neue Welt erschlossen, die Welt der radioaktiven Vorgänge, die mit den Ausstrahlungen des Radiums und verwandter Körper verbunden sind. Während es schon außerordentlich starker Strahlungen bedarf, damit sie, ähnlich wie die Röntgenstrahlen, durch den Fluoreszenzschirm oder die photographische Platte bemerklich gemacht werden können, zeigt das Elektroskop schon kleinste Strahlungen dadurch an, daß diese die Luft elektrisch leitend machen und so das geladene Elektroskop entladen. Diese Strahlungen sind zum Teil wesentlich anderer Art als die früher besprochenen, mit dem Licht verwandten Ätherstrahlungen. Sie bestehen nämlich aus α-Strahlen, die positiv geladene Heliumatome mit sich führen, aus β-Strahlen, die, von gewöhnlichem chemischen Stoff frei, lediglich negativ geladene Elektronen enthalten, und aus γ-Strahlen; nur dieser dritte Bestandteil ist eine Ätherstrahlung und den Röntgenstrahlen verwandt.

Einmal auf diese Strahlungen aufmerksam geworden, hat man gelernt, selbst einzelne Strahlen durch Photographie sichtbar zu machen. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß elektrisch geladene Teilchen zu Kernen von Wassertröpfchen geeignet sind, die in dampfübersättigter Luft sich bilden. In Abb. 31 sieht man strahlenartige Gebilde, die durch solche Kondensationskerne die Bahnen von α-Strahlen sichtbar machen nach einem Versuch von C. T. R. Wilson. In ähnlicher Weise kann

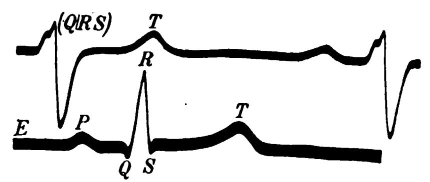


Abb. 30. Elektrokardiagramme, unten beim gesunden Menschen, oben bei mangelhaftem Schluß der Aortenklappe.



Abb. 31. Die Bahnen von α-Strahlen, durch Kondensationskerne in übersättigtem Wasserdampf sichtbar gemacht von C. T. R. Wilson.

man auch die Spur von β-Strahlen nachweisen. Mit einem β-Strahlteilchen, einem Elektron, hat man aber ein Gebilde sichtbar gemacht, dessen Masse rund ein quadrilliontel Milligramm beträgt. Diese Masse ist etwa der ebensovielte Teil der Masse eines Pfennigstücks, wie dieses von der Masse der Erde.

Das Dasein der Atome. Der Versuch ist von ebenso grundlegender Bedeutung wie der früher erwähnte mit der Beugung der Röntgenstrahlen. In beiden Fällen werden uns die Atome unmittelbar sichtbar gemacht, auch im vorliegenden, nicht zwar in ihrer Form, wohl aber durch ihre Spur.

Es ist nicht lange her, daß tiefgreifende wissenschaftliche Erörterungen darüber gepflogen wurden, ob das Vorhandensein von selbständigen Atomen nachgewiesen sei oder ob sie nur eine Annahme von uns darstellten, die ebensogut durch andere Annahmen ersetzt werden könnten. Man hat sich ernsthaft bemüht, die Grundgesetze der Chemie, die uns durch die Annahme von Atomen so leicht begreiflich werden, auch auf anderem Wege zu erklären.

In dem vorliegenden Experiment haben wir Tatsachen vor uns, die uns die Annahme der Atome ebenso sicher machen wie die Annahme einer Sonne. Denn ob ein Gegenstand durch Lichtbrechung oder durch Lichtbeugung abgebildet wird, macht, sofern man von der Form des Gegenstandes absieht, keinen großen Unterschied mehr. Man kann also sagen, daß das Dasein von Atomen kaum weniger sicher sei als das Dasein der Sonne.

Freilich nehmen wir nicht mehr an, daß die Atome, wie das Wort ausdrückt, unzerlegbar seien. Denn gerade die Erscheinungen der Radioaktivität haben gelehrt, daß Atome zerfallen können. Wohl aber sind die Atome verhältnismäßig stabile oder beständige Gebilde, genau so gut wie ein tierisches oder menschliches Einzelwesen. Hier ebensowenig wie dort kann man ganz genau die Grenze des Einzelwesens von seiner Umgebung feststellen. Die Atome, so gut wie die Einzelwesen, sind

verhältnismäßig selbständige Dinge, die sich von der Umgebung abheben und ihnen eigentümliche Bewegungen ausführen.

Ja noch mehr, das Leben der Atome hat uns in einem Punkte einen Aufschluß gegeben, der vielen ein undurchdringliches Rätsel zu sein schien, ich meine das Rätsel des Todes. Die radioaktiven Elemente zerfallen nämlich in einer Weise, daß von der vorhandenen Zahl von Atomen in bestimmter Zeit stets die Hälfte zerfällt; diese Zeit nennt man ihre Halbwertszeit. Sie weicht nicht viel ab von der mittleren Lebensdauer der betreffenden Atomgattung und stellt sich für Atome verschiedener Elemente als sehr verschieden heraus. Wir kennen solche von Bruchteilen einer Sekunde, von einigen Minuten, einigen Stunden, einigen Jahren und Jahrmilliarden. Wenn man indes von den Zwischenstufen absieht, sind die Lebensdauern der radioaktiven Stammelemente beträchtlich. Dabei ist es auffällig, daß gerade diejenigen Elemente zu den radioaktiven gehören, die mit das größte Atomgewicht besitzen, d. h. diejenigen, deren Bau am verwickeltsten ist. Es liegt die Vermutung nahe, daß alle Elemente radioaktiv sind, daß man die Radioaktivität der meisten aber deshalb nicht nachweisen kann, weil ihre Lebensdauer zu groß ist. Der Zerfall scheint also gebunden an den Grad der Zusammengesetztheit, und so braucht man sich nicht zu verwundern, wenn alles Zusammengesetzte auch dem Zerfall und somit dem Tode ausgesetzt ist; nur das vollständig Einfache und das Allumfassende, in dem alles Einfache, sich gestaltend und wieder auflösend, enthalten ist, dürfen wir als unsterblich vermuten. Ob es auch zusammengesetzte Gebilde von vollständiger Beständigkeit oder Stabilität gibt, wissen wir zurzeit noch nicht. Die Wahrscheinlichkeit spricht nicht dafür.

Wendet man diese Betrachtung auf die Tierwelt und den Menschen an, so liegt das Wunderbare nicht darin, daß sie sterblich sind, sondern darin, daß sie trotz ihrer großen Zusammengesetztheit eine verhältnismäßig so große Lebensdauer haben.

Wer aber meinen sollte, daß diese Vergleichung nicht angemessen sei, der mag darauf aufmerksam gemacht werden, daß nach einer etwas erweiterten Darwinschen Auffassung die Atome als unsere eigenen Vorfahren gelten müssen; jedenfalls ist das für den kein Zweifel, der annimmt, daß die einfachsten Lebewesen aus unorganischer Materie entstanden sind. Alle Verbindungen können aber als die Abkömmlinge

der Atome betrachtet werden, durch deren Verbindung sie entstanden. Gibt es doch auch in der Welt der niederen Tiere und Pflanzen Fälle, bei denen die Elternzellen bei der Erzeugung neuer Individuen sich restlos miteinander verschmelzen.

Das endlose Verfahren der Sinneserweiterung. Wir waren von unserem eigentlichen Gegenstand zuletzt abgeschweift und kehren wieder dahin zurück, doch nur, um die entwickelte Gedankenkette zum Abschluß zu bringen. Wir haben das Verfahren der Erweiterung der Sinne in seinen hervorstechendsten Zügen verfolgt. In Wirklichkeit haben wir nur Einzelheiten kennen gelernt aus einer kaum übersehbaren Fülle von Verfahren. Wo haben diese Verfahren ein Ende, oder haben sie überhaupt kein Ende? In der Tat, es läßt sich kaum ein Ende angeben, wo eine weitere Verfeinerung der Beobachtungsverfahren nicht mehr möglich wäre, und nur der Art nach läßt sich insofern ein Ende absehen, als es uns bei einer weiteren Entwicklung möglich wird, alle für uns irgendwie wesentlichen Arten von Vorgängen der Natur betrachtend zu erschöpfen.

Und damit komme ich zu einem grundsätzlich weittragenden Punkt der Erkenntnislehre. Es war kein Geringerer als Kant, der die Behauptung aufgestellt hat, daß zwar unsere Sinne durch die Vorgänge außer uns angeregt werden, daß die Sinne aber und unsere ganze geistige Beschaffenheit die Eindrücke derartig beeinflussen, daß wir nie imstande sein würden, die Dinge an sich zu erkennen.

Stellen wir uns einen Augenblick auf diesen Standpunkt solcher für uns unerkennbaren Dinge an sich, so könnten sie unerkennbar nur insofern bleiben, als sie weder unmittelbar noch mittelbar auf unsere Sinne einwirken. Solche Dinge hätten aber nicht den geringsten Einfluß auf den uns wahrnehmbaren Ablauf des Weltgeschehens. Ob sie vorhanden sind oder nicht, es würde für uns nicht die geringste Bedeutung haben. Wir können in der Tat auf die Kenntnis solcher Dinge nur an sich verzichten. Es ist aber eine gänzlich unbewiesene Annahme, daß Dinge nur für sich bestehen können, ohne in dem geringsten Austausch der Wechselwirkung mit ihrer Umgebung zu stehen. Alle Erfahrung widerspricht einer derartigen Voraussetzung durchaus.

Damit will ich die großen Verdienste von Kant nicht herabsetzen. Seine Erkenntniskritik bedeutet einen großen Fortschritt gegenüber dem

unkritischen Verhalten vieler seiner philosophischen Vorgänger, die das Wesen der Welt durch Gedankenphantasien erschließen zu können glaubten, bevor sie untersuchten, wie denn das Werkzeug beschaffen sei, mit dem sie arbeiteten, unsere Sinne, mit denen allein Erfahrungen gemacht werden, und unsere Geistesanlagen, mit denen wir sie verarbeiten. Es ist in der Tat schwer abzusehen, wie weit wir mit der Erkenntnis kommen könnten, wenn wir lediglich auf die natürlichen Sinne angewiesen wären.

Die erweiterten Sinne als Hilfsmittel zur Befreiung unserer Erfahrung von den Schranken der natürlichen Sinne. Aber je weiter wir fortschreiten in der Erweiterung der Sinne, um so mehr lernen wir zu unterscheiden, welcher Anteil unserer Erfahrungen bedingt ist durch den Einfluß unserer Sinne und welcher durch die Natur der außer uns bestehenden Vorgänge. Eine Farbe kann unserem Auge die einfache Empfindung des Weiß hervorrufen, obgleich die an uns herangetragenen Lichtstrahlen aus kurzwelligen blauen und langwelligen gelben gemischt sein können, die in dem Weiß herauszuempfinden wir nicht imstande sind, wohl aber durch den erweiterten Sinn des Spektroskops. Umgekehrt kann eine Saite, die wir mit einem Nagel anreißen, eine verhältnismäßig einfache Schwingungsform besitzen, obgleich wir einen gemischten Klang wahrnehmen, aus dem ein gutes Ohr verschiedene Einzeltöne heraushören kann. Ein Schwarm bewegter Molekeln kann das einemal unserer Hand als Luftstoß, das anderemal als erhöhte Temperatur erscheinen, obgleich sich die beiden Bewegungsarten der Molekeln nur durch den größeren oder kleineren Grad ihrer Ordnung unterscheiden.

Aber der Grad, in dem wir uns von der besonderen Natur unserer Sinne unabhängig machen können, hängt noch von einem weiteren Umstand ab. Die Erweiterung der Sinne und die dadurch bedingte Möglichkeit, neue Eindrücke aufzunehmen, genügt allein nicht, wir müssen auch imstande sein, sie in geeigneter Weise zu verarbeiten, und damit komme ich zu dem zweiten Punkt der von uns geplanten Betrachtungen, nämlich der Verarbeitung des von den Sinnen gebotenen Stoffes durch eine Erweiterung der geistigen Tätigkeit.

III. Die Erweiterung des Geistes.

Die Erweiterung des Geistes durch die Wissenschaften. Die Erweiterung der geistigen Tätigkeit erfolgt durch die Wissenschaften. Damit meine ich nicht, daß das Denken in der Wissenschaft an sich ein anderes sei als das natürliche Denken. Ohne alle künstlichen Hilfsmittel wäre es aber auch dem fähigsten Geiste kaum möglich, den Umfang, die Schärfe und Sicherheit eines wissenschaftlichen Gebäudes zu erreichen. Allein schon das Gedächtnis würde versagen; ist es doch eine bekannte Tatsache, daß die meisten Gelehrten von umfangreicher Leistung Teile ihrer eigenen Arbeiten mit der Zeit vollständig vergessen. Da kommt uns das geschriebene und gedruckte Wort zu Hilfe, das, wie Mach hervorhebt, eine außerordentliche Erweiterung unseres Gedächtnisses von beliebigem Umfange und vollkommener Schärfe darstellt.

Das ist aber nicht das einzige; es sind in jeder Wissenschaft Denkverfahren ausgearbeitet worden, die ungleich rascher zum Ziele führen, als es ohne sie möglich wäre. Ich erinnere für die Physik an die Hilfsmittel der Mathematik. Aufgaben, zu deren Lösung auch ein begabter Mensch, aber ohne mathematische Schulung, einen ganzen Tag braucht, kann ein mathematisch geübter Schüler in wenigen Minuten lösen, wenn er das Verfahren der unbekannten Buchstabengrößen verwendet, die aus geeignet angesetzten Gleichungen ermittelt werden. In der Tat stellen die Mathematik und die mathematisch arbeitende theoretische Physik eine gewaltige Erweiterung des Geistes dar, weit überlegen an Tiefblick und Urteilsschärfe dem ohne diese Hilfsmittel arbeitenden Geiste. Vorauszugehen hat freilich beim Betreten eines neuen Gebietes auf physikalischem Boden die bahnbrechende Arbeit des Experimentalphysikers.

Ein weiteres in vielen Wissenschaften wichtiges Verfahren, das man als das Verfahren der Isolierung oder Absonderung bezeichnen könnte, besteht darin, aus einem zusammengesetzten Vorgang einzelne Teile loszulösen, deren Abhängigkeit voneinander allein untersucht wird, während die anderen beeinflussenden Umstände als gleichbleibend angenommen werden. Es ist das wichtigste Verfahren der Experimental-

physik, mit dem Galilei die vorher lange stillstehende Wissenschaft auf einmal zu lebhaftester Tätigkeit und ungeahnten Erfolgen geführt hat.

Mit ihren Zeitschriften, Sonderwerken und Sammelwerken, die als das Gedächtnis für frühere Forschung gelten können, mit den ausgebildeten Verfahren der Experimentalphysik und Mathematik, also mit dem so erweiterten Geiste ausgerüstet, bedient sich die Physik in umfangreichen Laboratorien der mannigfaltigsten Apparate, die wir als die erweiterten Sinne kennen gelernt haben, um die tiefer liegenden Zusammenhänge und Vorgänge zu durchschauen, die den natürlichen Sinnen nur ausschnittsweise und wenig zusammenhängend erscheinen. So treten wir an die vorher aufgeworfene Frage heran, inwiefern es der Physik bisher gelungen ist, sich allmählich in wachsendem Umfange von der Sonderart unserer natürlichen Sinne zu befreien. Diese Frage können wir kaum in anschaulicherer Weise beantworten, als indem wir uns kurz die ganze Entwicklung der physikalischen Gedanken oder Theorien vergegenwärtigen, die die Physik in den letzten hundert Jahren etwa durchlaufen hat.

Die Entwicklungsgeschichte der physikalischen Bilder in den letzten hundert Jahren. Das Verfahren, dessen sich die Physik zur Beherrschung der physikalischen Erscheinungen bedient, besteht nach der treffenden Äußerung von Hertz darin: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände."

Um die Entwicklungsgeschichte dieser Bilder wird es sich also jetzt handeln. Sie standen zu Beginn des 19. Jahrhunderts ganz unter dem Einfluß der Newtonschen Physik. Das große Werk von Newton bestand in seinem Kern in der Zurückführung der Bewegung der Planeten auf die Kräfte, die zwischen Sonne und Planeten tätig sind. Nach dem Newtonschen Gesetz sind diese Kräfte umgekehrt verhältig den Quadraten der Entfernung zwischen Sonne und Planet, unmittelbar verhältig der Masse der Sonne und der Masse des Planeten.

Auf Kräfte ähnlicher Art war es gelungen die elektrischen und magnetischen Erscheinungen zurückzuführen. Nur mußte man statt der wägbaren stofflichen Massen unwägbare elektrische und magnetische Massen

einführen, in früherer Bezeichnung: imponderable Fluida. Man brauchte dazu für die magnetischen Erscheinungen nordmagnetische und südmagnetische Stoffe, für die elektrischen Erscheinungen positive und negative elektrische Stoffe.

Auch in der Lehre vom Licht herrschten zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch die Newtonschen Gedanken vor. Danach sollte auch das Licht durch einen Lichtstoff bedingt sein, bestehend aus kleinsten Teilchen, die von den leuchtenden Körpern mit Lichtgeschwindigkeit ausgesandt werden.

Auch die Wärme dachte man sich bedingt durch einen Wärmestoff, der, von Körper zu Körper ausgetauscht, die Wärmeerscheinungen hervorbringt.

Nur beim Schall hat man von jeher der Anschauung gehuldigt, daß er durch eine wellenförmige Ausbreitung von Verdichtungen in Luft oder anderen wägbaren Körpern zustande käme; nur bei ihm hatte man sich früh von dem unmittelbaren Sinneseindruck des Gehörs befreit. Bei Wärme und Licht war man aber noch ganz in den Banden des sinnlichen Eindrucks, und bei der Elektrizität und dem Magnetismus, für die uns der unmittelbare Sinn fehlt, nahm man Stoffe an, die man sich nach Ähnlichkeit des fühlbaren und sehbaren körperlichen Stoffes dachte. Zählt man zusammen, so hatte man es mit sieben verschiedenartigen, nicht aufeinander zurückführbaren Stoffen zu tun; nämlich neben dem wägbaren Stoff mit je einem für Licht und Wärme und je zweien für Elektrizität und Magnetismus.

Es ist von außerordentlichem Reiz, zu verfolgen, wie bei der Entwicklung der physikalischen Vorstellungen ein Stoff nach dem anderen verschwand, wie die Vorstellungen immer einheitlicher wurden und einem vollständig einheitlichen Gebäude zuzustreben begannen, das freilich noch nicht fertig, wahrscheinlich aber innerhalb kurzer Zeit vollendet dastehen wird.

Zunächst fiel der Lichtstoff den Fresnelschen Entdeckungen zum Opfer. Fresnel drang zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit der Anschauung durch, die zu Newtons Zeiten schon von Huygens vertreten war, daß das Licht in der Ausbreitung von Wellen bestünde, die freilich nicht in wägbaren Körpern stattfinden. Kommt doch das Licht durch den von solchem Stoff leeren Raum zur Erde. Es bedurfte also der Annahme eines neuartigen Stoffes, der das ganze Weltall erfüllt und

den man als Weltäther bezeichnet hat. Für eine Vereinheitlichung der Physik war damit freilich zunächst nichts gewonnen.

Im Jahre 1820 entdeckte Oersted die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Bald darauf wies Ampère nach, daß zwei elektrische Stromkreise wie zwei Magnete aufeinander wirken. Es war daher möglich, die Magnete durch elementare elektrische Ströme zu ersetzen. Die zwei magnetischen Stoffe wurden überflüssig, und es entstand das einheitliche Gebiet des Elektromagnetismus.

Gegen die stoffliche Natur der Wärme waren bereits um das Jahr 1800 Bedenken geltend gemacht worden, die sich zunächst aber nicht durchsetzen konnten. Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts drangen Robert Mayer, Joule und Helmholtz mit der Vorstellung durch, daß die Wärme nur eine Art von Arbeitsvermögen oder Energie darstelle, und in der daran sich anschließenden Entwicklung bildete sich bei den Physikern die Vorstellung aus, daß die Wärmeenergie eine Bewegungsenergie sei, bedingt durch die uns unmittelbar nicht sichtbaren lebhaften ungeordneten Bewegungen der kleinsten stofflichen Teile, der Molekeln und Atome. Damit war die Wärmelehre der stofflichen Mechanik als Molekularmechanik zugewiesen.

Die Physik bestand demnach nur noch aus drei getrennten Gebieten: der Mechanik, dem Licht und den elektromagnetischen Erscheinungen. Die Entwicklung der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts brachte die Vereinigung von Licht und Elektromagnetik. Sie ging aus von den glänzenden Entdeckungen von Faraday, die von dem Gedanken der Einheitlichkeit aller Naturkräfte geleitet waren und von dem Zweifel an einer Kräftewirkung in die Entfernung. Im Anschluß an die Newtonschen Schüler hatten sich die Physiker an die Vorstellung der unmittelbaren Kräftewirkung durch den leeren Raum gewöhnt. In der Tat verhielten sich die Himmelskörper so, als ob sie solchen Kräften unterliegen, die ohne Zeitverlust den leeren Raum überspringen. Und doch wie sehr widerspricht diese Vorstellung dem natürlichen Empfinden; ist doch der Mensch daran gewöhnt, daß an einem Ort nur das wirke, was aus der unmittelbaren Umgebung auf ihn eindringt.

Da wies Faraday nach, daß das zwischen den elektrischen Körpern befindliche Mittel, das Dielektrikum, auf die Erscheinungen von wesentlichem Einfluß sei. Er glaubte deshalb an eine allmähliche Ausbrei-

tung der elektrischen und magnetischen Kräfte, die er sich durch elektrische und magnetische Kraftlinien veranschaulichte. Diese Linien sollten den von wägbarem Stoffe freien Äther durchsetzen und eine Veränderung seines Gefüges darstellen. Der Schauplatz der elektromagnetischen Kräfte war damit als der gleiche wie der Schauplatz des Lichtes angenommen, und die Wechselwirkung zwischen magnetischen Kräften und Licht wies Faraday durch eine großartige Entdeckung nach, in der er zeigte, daß die in einem durchsichtigen Körper wie Glas eingeführten magnetischen Kräfte die Schwingungsrichtung des Lichtes beeinflussen.

Faraday war reiner Experimentalphysiker. Damit seine Vorstellungen in ein festes Gefüge gebracht würden, bedurfte es eines strengen mathematischen Baues, einer physikalischen Theorie, die auf diesen Anschauungen begründet ist. Es war die glänzende Leistung von Maxwell, diese Theorie aufgeführt zu haben.

Abb. 32. Entstehung einer elektromagnetischen Welle. i = anwachsender Strom im Sender. M = anwachsende magnetische Kraft in der Umgebung. i' = Verschiebungsstrom in der Umgebung.

Ich will versuchen, den Inhalt dieser Theorie in großen Zügen zu schildern. Dazu eignet sich am besten die Darstellung der Art, wie sich elektrische Wellen im Raum fortpflanzen, Wellen, wie sie von einem Hertzschen Sender oder der Antenne einer Großstation drahtloser Telegraphie ausgehen. Bildet ein solcher Draht den Teil einer offenen elektrischen Leitung, die von einer Funkenstrecke unterbrochen wird, so treten, wie schon Feddersen entdeckt hat, darin elektrische Schwingungen auf. In Abb. 32 stellt i einen in dem Draht im Anwachsen begriffenen Strom dar. Um ihn herum laufen dann nach Faraday an Zahl zunehmende magnetische Kraftlinien M. Sie bedingen im Äther eine Veränderung, die mit der Trennung magnetischer Pole verbunden ist, ein Vorgang, den der Physiker als magnetische Polarisation bezeichnet. Nun hat Faraday entdeckt, daß die Schwankungen der magnetischen Kraftlinien in einem um sie herumlaufenden Draht elektrische Ströme einleiten oder induzieren. Nach der Vorstellung von Faraday und Maxwell muß sich der Äther ähnlich verhalten wie ein elektrischer Draht. Auch in ihm müssen um die magnetischen Kraftlinien herum elektrische Ströme entstehen, die man als Verschiebungsströme bezeichnet

hat. Sie beruhen darin, daß vorher zusammenfallende elektrische Pole getrennt werden und so eine Verschiebung der Elektrizitäten bedingen.

Das Gesamtergebnis dieser Induktionswirkungen ist, daß im umgebenden Raume parallel mit dem Drahte Verschiebungsströme auftreten, wie es die nebenstehende Abbildung veranschaulicht. Die Maxwellsche Annahme geht nun ferner dahin, daß diese Verschiebungsströme ebenso wie die im Draht fließenden Ströme wieder magnetische Kraftlinien erzeugen. Man sieht, das Spiel der Kräfte geht immer weiter, es pflanzt sich im Raume eine elektrische Welle fort, deren Richtung mit dem erzeugenden Drahte parallel läuft, während zugleich senkrecht dazu magnetische Schwingungen auftreten, die mit den elektrischen unlösbar verbunden sind.

Auch die Geschwindigkeit dieser Wellen konnte Maxwell theoretisch vorausbestimmen. Er stützte sich dabei auf die von Gauß und Weber in Deutschland erzielten Forschungsergebnisse, die mit der Begründung eines allgemeinen physikalischen Maßsystems verbunden waren, eines Maßsystems, das für unsere heutige Elektrotechnik grundlegend ist und aus dem die Maßeinheiten der Elektrizitätsmenge, der Stromstärke usf. abgeleitet werden. Dieses System spaltet sich in ein elektrostatisches und elektromagnetisches Maßsystem, und das Verhältnis der elektrostatisch und elektromagnetisch gemessenen Elektrizitätsmenge ergab sich gleich einer Geschwindigkeit, deren Größe experimentell gleich der Lichtgeschwindigkeit gefunden wurde. Nach Maxwells Theorie müßte diese zugleich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen sein. Die ganze Theorie war niedergelegt in sechs verhältnismäßig einfachen Gleichungen, die der Mathematiker als partielle Differentialgleichungen bezeichnet. Das Licht selbst konnte demnach nichts anderes sein als ein Sonderfall elektromagnetischer Wellen, von den elektromagnetischen nur unterschieden durch die Größe ihrer Wellenlänge.

Das Ganze war bis dahin nur Theorie, und trotz der Tiefe det darin verborgenen Gedanken wurde sie keineswegs ohne weiteres von den Physikern angenommen. Nur die hervorragendsten Theoretiker wie Helmholtz und Boltzmann traten ihr näher. Eine von Helmholtz gestellte Preisaufgabe wies seinen Schüler Hertz auf diese bedeutungsvolle Bahn, und ihm gelang es, in einer Folge ebenso gedankenreicher wie einfacher Experimente den unmittelbaren Beweis für die Richtigkeit der Maxwellschen Theorie zu erbringen. Es gelang ihm, elektromagnetische Schwin-

gungen von so kleiner Wellenlänge herzustellen, daß sie in dem Physikhörsaal der Karlsruher Technischen Hochschule Platz fanden und in all ihren Eigentümlichkeiten verfolgt werden konnten. Ohne diese Experimente wären die Marconischen ersten Versuche und die ganze spätere Entwicklung der drahtlosen Telegraphie unmöglich gewesen. Ohne die Maxwellsche Theorie hätte aber auch Hertz seine Versuche nicht unternommen.

An diesem Musterbeispiel kann man die weittragende Bedeutung umfassender physikalischen Theorien ermessen. Sie bergen im Keime technische Entdeckungen von unermeßlicher Tragweite. Aber während hier die reine Theorie der Technik voranging, geht die Technik in anderen Fällen auch der Theorie voran. Physik und Technik, Lehre und Anwendung oder Theorie und Praxis befruchten einander wechselseitig in schöpferischer Weise.

Was bedeutete nun die Maxwellsche Theorie für die physikalische Theorie im ganzen? Die Lehre vom Licht wurde damit nur zu einem Teilgebiet der elektromagnetischen Erscheinungen. Beide spielen sich ab im Äther, und so standen sich bei diesem Zustand der Entwicklung in der Physik nur noch zwei große Erscheinungsgruppen gegenüber: die Physik des Äthers und die Physik der Materie, d. h. des wägbaren Stoffes.

Doch bei dieser Trennung blieb es nicht lange. Schon die Erscheinungen der Wärmestrahlung deuteten auf den Zusammenhang hin. Mit den stofflichen Wärmeschwingungen waren elektromagnetische Schwingungen verknüpft. Einen noch innigeren Zusammenhang brachte die Entdeckung der radioaktiven Erscheinungen. Diese knüpften an die Entdeckung von Röntgen an, indem es Becquerel gelang, ähnliche Strahlen als von Uranverbindungen ausgehend nachzuweisen. Die Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar Curie und das umfangreiche neue Gebäude der Radioaktivität folgte nach. Eine ihrer bedeutungsvollsten Tatsachen enthielt die von Ramsay gemachte Entdeckung, daß eines der Zerfallsprodukte des Radiums das Helium sei. Ja neuerdings glückte es Rutherford, aus Stickstoffatomen mit α-Strahlteilchen Wasserstoffatome herauszuschießen. Das bis dahin Unerhörte war gefunden, daß die für unzerstörbar gehaltenen Atome nicht unsterblich seien; und doch war damit ein alter Traum der Chemiker und Physiker erfüllt von der Einheitlichkeit sämtlichen Stoffes. Eine Entwicklung, die man nach einer Äußerung des hervorragenden öster-

reichischen Phÿsikers **Boltzmann** auf Hunderte von Jahren hätte schätzen müssen, war in nicht ganz zwei Jahrzehnten zurückgelegt worden.

Die heutige Phÿsik eine einheitliche Elektromagnetik. Und woraus besteht nun dieser einheitliche Stoff? Die Antwort lautet: aus elektrischen Trägern. Gestützt auf die elektromagnetische Theorie konnte man nachweisen, daß die Trägheit, die den elektrischen Erscheinungen zu eigen ist bei der Induktion und der Ausbreitung elektrischer Wellen, daß diese selbe Trägheit auch geeignet ist, die Trägheit des wägbaren Stoffes zu erklären.

In diesem Zustand der Entwicklung ist die ganze Phÿsik einheitlich geworden und ihre Sprache die Sprache der Elektromagnetik. Ist das schon das Ende der ganzen Entwicklung? Wer die Geschichte der Phÿsik überblickt, wird diese Frage verneinen müssen. Die Geschichte weist auf eine Richtung hin nach immer einheitlicheren grundlegenden Begriffen und Bausteinen des gesamten wissenschaftlichen Baues.

Die von der Art unserer Sinne befreite Phÿsik der Zukunft. Alle Vorgänge sind Veränderungen von Nebeneinanderbestehendem, d. h. Vorgänge in Raum und Zeit. Das Veränderliche braucht aber nichts weiter zu sein als ein Bewegtes, das von anderem Bewegten sich nur durch die Art der Bewegung unterscheidet. In der Tat liegen schon Versuche vor, die Phÿsik in eine einheitliche Bewegungslehre aufzulösen, so von **Hertz** und **Bjerknes**; aber noch ist man nicht imstande, genau anzugeben, welche Bewegungsvorgänge es sind, die z. B. der positiven und negativen Elektrizität zu eigen sind. In dem Augenblick aber, wo die Sprache der Elektromagnetik übersetzt werden kann in die einfache Sprache der Bewegungslehre, werden wir eine einheitliche Phÿsik denkbar einfachster Art vor uns haben.

Das Ziel der Befreiung der Wissenschaft von der besonderen Form unserer Sinne wäre dann erreicht. Denn wenn auch unsere räumliche und zeitliche Anschauung eine durch uns bedingte Färbung besitzt, so geht doch diese Färbung nicht in die Wissenschaft ein, und der **Kant**schen Behauptung, daß Zeit und Raum **nur** aprioristische Formen unserer Anschauung, d. h. allein durch unsere geistige Beschaffenheit bedingt seien, kann der heutige Phÿsiker und Mathematiker nicht mehr zustimmen. Hat doch die Mathematik eine in sich geschlossene widerspruchsfreie nicht-euklidische Geometrie aufgebaut, die von der Geometrie unserer Erfahrung verschieden

ist. Wir sind also keineswegs gezwungen, die Geometrie der Erfahrung von vornherein oder a priori als die einzig mögliche anzunehmen. *Die Gesetze der Geometrie sind vielmehr nur eine Seite der uns erfahrungsmäßig gegebenen Bewegungsvorgänge.*

Um grundsätzlich einzusehen, wie es möglich sei, Beziehungen der außer uns sich abspielenden Vorgänge aufzufinden, in die die Natur unserer Sinne, durch die wir sie doch beobachten, nicht mehr eingeht, denke man nur an den Fall, daß eine Größe x durch eine Gleichung mit einer andern Größe y in Beziehung gebracht sei und durch eine zweite Gleichung mit einer weiteren Größe z. Wir können dann die Größe x aus den beiden Gleichungen aussondern oder eliminieren und finden eine neue Gleichung, die uns nur noch eine Beziehung zwischen y und z liefert, ohne x zu enthalten. Das ist genau das Verfahren der theoretischen Physik, die Beziehungen der Vorgänge außer uns untereinander zu ermitteln, unter Aussonderung ihrer Beziehungen zu uns selbst. Es ist dasselbe Verfahren, um zukünftige Vorgänge vorauszuberechnen. Will der Forscher sein Ergebnis prüfen, so muß er freilich den fraglichen Vorgang wieder zu gegebener Zeit mit seinen Sinnen in Beziehung bringen, und wenn nicht mit seinen eigenen, so doch mit denen eines anderen Menschen. Es war das in der Tat das Verfahren von *Leverrier*, der den Ort eines bisher unbekannten Planeten am Himmel berechnete und seinen Kollegen *Galle* veranlaßte, ihn dort zu suchen, wo er ihn auch fand. Das ist die Geschichte der Entdeckung des Neptuns, die seinerzeit nicht verfehlte, in der ganzen Kulturwelt das größte Aufsehen zu erregen.

Wir haben uns in die denkbar abgeblaßtesten Formen physikalischer Lehre verloren, und Sie werden vielleicht fragen: *Kommt solcher Lehre noch Anwendungsmöglichkeit zu?* Darauf ist zu antworten, daß sie, einmal durchgeführt, genau wie die *Maxwellsche* Lehre einen *unversiegbaren Born wichtigster Anwendungen* ermöglichen würde. Erst dann werden wir imstande sein, äußere Vorgänge jeglicher Art bis ins tiefste zu durchschauen und sie uns nach Belieben nutzbar zu machen.

Und damit komme ich zu dem dritten und letzten Teil unserer Betrachtungen, wie wir vermöge der erweiterten Sinne und der geistig erweiterten Weltanschauung nun auch, unter Erweiterung der Gliedmaßen, auf die äußere Welt zurückwirken können.

IV. Die Erweiterung der Gliedmaßen.

1. Die Größe der herangezogenen fremden Energien und der Energiehaushalt der Erde.

Die Entwicklung der Kunst der Heranziehung fremder Arbeitskräfte. Bei der Erweiterung des menschlichen Arbeitsvermögens durch künstliche Hilfsmittel müssen wir von vornherein zwei Dinge voneinander unterscheiden: die Form der Arbeit und die Größe der Arbeit. Auch die verwickeltsten Maschinen würden dem Menschen nichts nützen, wenn er nicht die Fähigkeit besäße, sie anzutreiben. Allein zum Antrieb der gegenwärtig auf der Erde benutzten Maschinen würden etwa zehnmal so viel Menschen nötig sein, als auf der ganzen Erde wohnen. Es war daher von der einschneidendsten Bedeutung, daß es dem Menschen gelang, die eigene Muskelkraft durch außer ihm liegende Kräfte zu ersetzen. Neben der Erfindung des Werkzeugs und der Sprache kann daher als dritte wichtigste Kulturtat des vorgeschichtlichen Menschen gelten das Indienstnehmen von Haustieren. Man schätzt die auf der Erde jetzt vorhandenen Haustiere an Arbeitsfähigkeit dem der Bevölkerung der Erde ungefähr gleich.

Aber den steigenden Bedürfnissen genügte die Arbeitskraft der Haustiere bald nicht mehr, und so sehen wir, wie bei den alten Völkern, z. B. den Ägyptern, Griechen und Römern, Sklaven in weitgehender Weise als reine Muskelmaschinen benutzt wurden. Allein durch die rücksichtslose Ausnutzung von Sklaven kamen die großen ägyptischen Bauwerke wie die Pyramiden zustande, und noch zur Zeit der römischen Republik kam die Zahl der Sklaven der Zahl der freien Bevölkerung ungefähr gleich. Da war es wieder eine Kulturtat ersten Ranges, als man begann, die Naturkräfte selbst heranzuziehen. Die Nachrichten über die ersten Wasserräder stammen aus dem ersten Jahrhundert v. Chr. Im sechsten Jahrhundert n. Chr. kannte man bereits allgemein Wassermühlen, und im Mittelalter wurde in so großem Maße die Kraft des Windes und des Wassers herangezogen, daß dort das Sklavenwesen nicht mehr bekannt war.

Eine Ausnutzung der Naturkräfte von ganz anderem Maßstabe begann aber erst, als man im 18. Jahrhundert lernte, den von kohlenbeheizten Kesseln gespannten Dampf in den Dampfmaschinen für sich arbeiten zu lassen. Von da ab erst zählt der mit Riesenschritten erfolgende Aufschwung von Technik und Naturwissenschaften.

Die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile und das Gesetz der Erhaltung der Energie. Bei solcher Bedeutung der Arbeitsquellen ist es kein Wunder, daß die Sehnsucht der Erfinder dahin ging, Maschinen zu bauen, die Arbeit leisteten, ohne daß man sie durch natürliche oder künstliche Kraftquellen anzutreiben brauchte. Man hat eine solche Maschine ein Perpetuum mobile genannt. Trotz aller Aufklärungsarbeit der Physiker ist die Einsicht von der Unmöglichkeit des Baues solcher Maschinen noch nicht in genügender Weise durchgedrungen. Aus meiner eigenen Erfahrung kann ich erzählen, daß mich vor einigen Jahren eine Frau besuchte, die ein Haus ohne Dienstboten und ohne persönliche Bemühung der Einwohner durch Maschinen auszustatten gedachte, die alle häusliche Arbeit wie Reinigung, Klopfen und dgl. selbsttätig verrichteten vermöge einer im Keller aufgestellten Maschine, die ohne Arbeitszufuhr, ohne elektrischen oder sonstigen Antrieb, die erforderliche Arbeit aufbrächte.

Andauernd liefen während des Krieges bei der Heeresverwaltung Beschreibungen von Maschinen ein, die gleichfalls nichts anderes als ein solches Perpetuum mobile darstellten. Und nicht genug damit. Es gibt noch heute Mechaniker, die sich wirtschaftlich zugrunde richten durch die andauernden Bemühungen um den Bau eines solchen Apparates. Max Eyth, der Dichter-Ingenieur, hat in seinem „Schneider von Ulm" in ergreifender Weise die Leidensgeschichte eines solchen Erfinders und seiner Familie geschildert.

Vor vielen Jahren fuhr ich einmal mit einem Juristen zusammen, und das Gespräch kam auf die Zeit, wo der Kohlenvorrat der Erde erschöpft sein wird. „Nun," meinte der Jurist, „das wird nicht gefährlich sein; man wird dann die Maschinen auf elektrischem Wege antreiben." Als ob nicht die stromerzeugende Dynamomaschine ihrerseits des Antriebs der durch Verbrennung der Kohle betriebenen Dampfmaschine oder eines anderen Antriebs bedürfte.

All diese Fragen sind von der Physik in abschließender Weise durch

die Aufstellung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie um die Mitte des 19. Jahrhunderts durch Robert Mayer, Joule und Helmholtz erledigt worden. Das Gesetz besagt, daß kein Arbeitsvorrat oder keine Energie neu geschaffen werden noch verloren gehen kann. Ein in Bewegung befindlicher Motor müßte also, wenn er nicht durch Kraftmaschinen angetrieben wird, durch die Reibungsarbeit zum Stillstand kommen, die in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Die mechanische Arbeit des Menschen. Auch der Mensch kann nicht unbegrenzt Arbeit leisten, wenn ihm nicht Energie in Form von Nahrung zugeführt wird. Ein Arbeiter, der viel Muskelarbeit aufzubringen hat, braucht daher eine kräftigere und umfangreichere Ernährung als ein Nichtarbeiter, wenn er nicht bald durch Entkräftung arbeitsunfähig werden soll. Das ist ja auch der Grund, weshalb im Kriege unsere Schwerarbeiter Nahrungsmittelzulagen erhalten haben.

Wollen wir nun diese Verhältnisse eingehender ins Auge fassen, so ist es vor allem nötig, einen Maßstab für die Arbeit einzuführen. Dazu benutzt man in der Technik das Kilogrammeter (kgm). Das ist die Arbeit, die nötig ist, um 1 kg einen Meter hochzuheben. Handelt es sich um die Beurteilung einer dauernden Arbeitsleistung, so benutzt man dazu als Einheit die Pferdekraft oder Pferdestärke (P. S.), die dann vorliegt, wenn in einer Sekunde die Arbeit von 75 kgm geleistet wird.

Das Pferd kann solche Arbeit aber nur vorübergehend verrichten. Für die andauernde Arbeit eines Pferdes wird man nur den dritten Teil, also 25 kgm in der Sekunde, annehmen dürfen. Bedeutend geringer ist die Arbeitsleistung des Menschen. Zu einem einstündigen Marsch von mäßiger Geschwindigkeit, bei der 4,8 km in der Stunde zurückgelegt werden, gebraucht er 20000 kgm Arbeit. Daraus berechnet sich die menschliche Leistung bei Dauerarbeit zu ein dreizehntel bis ein vierzehntel Pferdestärke. Schwerarbeiter verrichten in der Stunde etwa die gleiche Arbeit wie bei dem Marsch. Die Tagesleistung eines Schmiedes oder Feldarbeiters kann man auf etwa 200000 kgm bemessen.

Will man die Arbeitsfähigkeit der 1700 Millionen betragenden Gesamtbevölkerung der Erde abschätzen und legt mit Boruttau eine mittlere Tagesarbeit von 50000 kgm zugrunde, an der sich die Hälfte der Bevölkerung an 300 Tagen des Jahres beteiligt, so ergibt

sich daraus eine Gesamtleistung, die rund 5 Millionen Pferdestärken während des ganzen Jahres dauernd bestreiten könnte.

Die Kohle als Energiequelle. Auf den zehnfachen Betrag, wie ich schon erwähnte, schätzt man den tatsächlichen Verbrauch der Menschheit an mechanischer Arbeit, das sind also 50 Millionen Pferdestärken, die ununterbrochen während des ganzen Jahres wirksam sein müssen, um dem in Wirklichkeit ungleichmäßigen Verbrauch gleichzukommen. Nur 10 v. H. etwa von dieser Arbeit wird durch Wasserkräfte aufgebracht. Der Rest wird in erster Linie durch Verbrennung von Kohle und Ausnutzung der so erzeugten Wärme in Dampfmaschinen erzeugt. Allein 70 bis 80 v. H. der Gesamtleistung wird für die Zwecke des Verkehrs in Anspruch genommen. Die Lokomotivdampfmaschinen arbeiten aber besonders unwirtschaftlich, und so kommt es, daß man tatsächlich etwa 17mal soviel Kohlen verbraucht, als wenn ihre Verbrennungsenergie voll in Arbeit umgesetzt werden könnte. Es kommt hinzu, daß eine ungefähr ebenso große Kohlenmenge für andere Zwecke verbraucht wird, nämlich für Heizung, für metallurgische und sonstige industrielle Ziele. So ergibt sich denn ein außerordentlicher Gesamtkohlenverbrauch auf der ganzen Erde, der für das Jahr 1910 auf rund $1^1/_4$ Milliarden Tonnen angegeben wird.

Da tritt die große Frage auf, wie lange denn die Kohlenschätze der Erde ausreichen, wenn sie in solcher Weise beansprucht werden, und ob nicht in absehbarer Zeit der Fall eintreten wird, daß diese Vorräte erschöpft sind. Was wird dann aus unserer gesamten Kultur, die auf einen derartigen Energieverbrauch eingestellt ist? Diese Frage ist eingehend in Vorträgen von Prof. Scholl in Leipzig und Prof. Bodenstein in Hannover erörtert worden, deren Gedankengang auch ich mich im wesentlichen anzuschließen habe.

Um einen Gesamtüberblick zu gewinnen, müssen wir wissen, wie groß der Kohlenreichtum der ganzen Erde ist. Er wird von Biedermann zu 3000 Milliarden Tonnen angegeben. Da nun der Kohlenverbrauch noch fortwährend im Steigen begriffen ist, so würde er schon in wenigen Jahrhunderten erschöpft sein, wenn dieses Steigen anhielte. Im einzelnen hat der Geologe Frech sehr lehrreiche Angaben gemacht. Danach würde, wenn die Zunahme der Kohlenförderung in demselben Maße anhält wie bisher, schon in 200 Jahren die Erschöpfung der

Kohlenlager Zentralfrankreichs, Böhmens, Sachsens und Nordenglands zu erwarten sein; die des übrigen Englands in etwa 300 Jahren, die der nordfranzösischen und Saarbrückener Lager in 400 bis 500 Jahren, während die oberschlesischen Kohlenschätze noch für etwa 1000 Jahre ausreichen würden. Die amerikanischen dagegen würden nach Frech, der sich auf amerikanische Fachleute stützt, bereits in $1\frac{1}{2}$ Jahrhunderten erschöpft sein, wenn der gegenwärtige rücksichtslose Raubbau anhält.

Es tritt daher zunächst die Frage auf, ob es nicht möglich ist, mit der Kohlenenergie sparsamer umzugehen, indem man einen größeren Teil davon als bisher in Arbeit umzusetzen lernt. Fragen wir zunächst nach dem Arbeitswert der Kohle, d. h. nach der Arbeitsmenge, die man nach dem Energiegesetz günstigstenfalls durch Verbrennung der Kohle gewinnen könnte. Es entstehen durch Verbrennung von 1 kg bester Kohle rund 8000, von Kohle mittlerer Güte etwa 5500 Kalorien, worunter man diejenige Wärmemenge versteht, die nötig ist, um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen. Dieselbe Wärmemenge kann man durch Reibung herstellen, indem man eine Arbeit von 427 kgm aufwendet. Würde man jederzeit ebenso leicht Wärme in Arbeit wie Arbeit in Wärme umsetzen können, so müßte man also durch eine Kalorie Wärme 427 kgm Arbeit leisten können, durch Verbrennung von 1 kg mittlerer Kohle also $5500 \cdot 427 =$ rund $2\frac{1}{3}$ millionen kgm. Diese Arbeit, in einer Stunde aufgewandt, entspräche einer Leistung von 8,7 P.S. Unsere besten Dampfmaschinen leisten das aber bei weitem nicht. Woher kommt das?

Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art, zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und die Entwicklung der Wärmekraftmaschine. Daß nicht alle Wärme ohne weiteres in Arbeit umgesetzt werden kann, hat der französische Ingenieur Carnot bereits in den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts nachgewiesen. Wäre das möglich, so brauchte man ja nur beispielsweise von einem Schiff die Meereswärme ausnutzen zu lassen, um es anzutreiben. Das Meerwasset würde dann bis zur Eiseskälte abgekühlt zurückbleiben, während das Schiff vorangetrieben wird. Auch hier hätten wir eine Art Perpetuum mobile vor uns, das man nach Ostwalds Vorschlag als ein Perpetuum mobile zweiter Art bezeichnen kann. Es ist das Verdienst von Carnot, nachgewiesen zu haben, daß ein solches Perpetuum mobile unmöglich ist. Vielmehr muß nach ihm die Wärme,

damit sie Arbeit leisten kann, von einer höheren Temperaturlage zu einer tieferen Temperaturlage übergehen, in ähnlicher Weise, wie das Wasser allein dadurch Arbeit leisten kann, daß es von höherer zu tieferer Lage hinabsinkt.

Noch waren die Überlegungen von Carnot nicht einwandsfrei, da ihm damals das Energiegesetz nicht bekannt war. Indem Clausius den richtigen Kern des Carnotschen Gedankens mit dem Energiegesetz verband, gewann er einen Satz von außerordentlicher Tragweite, der in der Physik und Chemie unter dem Namen des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie bekannt ist. Um uns seine Bedeutung an einem Beispiel klarzumachen, stellen wir uns vor, daß die Wärme des Dampfes in einer Dampfmaschine von der höheren Temperatur im Dampfkessel zur tieferen Temperatur im Kondensator hinabsinkt. Dann läßt sich über den möglichen Nutzeffekt einer Maschine eine bestimmte Angabe machen, wobei wir unter dem Nutzeffekt das Verhältnis verstehen der in Arbeit umgesetzten Wärme zu der im ganzen verbrauchten Wärme. Es ist der Nutzeffekt der Maschine gleich dem Verhältnis des Temperaturunterschiedes zwischen Kessel und Kühler zur absoluten Temperatur im Kessel. Die absolute Temperatur unterscheidet sich von der Celsiustemperatur nur dadurch, daß sie ihren Nullpunkt nicht bei der Schmelzwärme des Wassers, sondern bei —273° C hat. Nun ist die Temperatur des Kühlers durch die Lufttemperatur bestimmt und läßt sich nicht leicht unter 40° C herabdrücken. Berechnet man danach den möglichen Nutzeffekt unserer Dampfmaschinen, die mit einer Kesseltemperatur von etwa 190° bei einem Druck von 12 Atmosphären arbeiten, so erhält man nur 32 v. H., wovon unsere besten heutigen Maschinen etwa die Hälfte nutzbar machen, indem sie im ganzen etwa 17 v. H. der Wärme ausnutzen.

Weit ungünstiger stellen sich die Dampfmaschinen der Lokomotiven, die wegen ihrer Beweglichkeit nicht mit den umständlichen Einrichtungen einer feststehenden Maschine ausgestattet werden können. Höhere Nutzeffekte würde man nur erzielen können durch Hinaufsetzung der Kesseltemperatur. Diese hat aber eine obere Grenze an der Festigkeit der Kesselwände, die in steigendem Maße höheren Spannungen ausgesetzt werden, wenn die Kesseltemperatur wächst.

Die große Entwicklung unserer Dampfmaschinen vollzog sich ganz nach den Gesichtspunkten der Clausiusschen Theorie. Besaßen



Abb. 33. Zwillings-Tandemmaschine von 20000 P. S. der Maschinenfabrik Ehrhardt & Sehmer in Saarbrücken.

doch die ersten Dampfmaschinen einen Nutzeffekt von nur $^1/_3$ v. H. Abb. 33 zeigt eine neuere Zwillings-Tandemmaschine, d. h. eine aus zwei Paaren je zweier hintereinander liegenden Zylinder mit der gewaltigen Gesamtleistung von 20000 P. S.

Nahezu denselben Nutzeffekt wie die besten Dampfmaschinen haben die neueren Dampfturbinen, die daneben den großen Vorteil der umlaufenden Anordnung haben gegenüber der hin und her gehenden des Kolbens der Dampfmaschine. Daß sie überdies einen verhältnismäßig viel kleineren Raum beanspruchen als die Dampfmaschinen, erkennt man aus Abb. 34, die eine Dampfturbine darstellt, gekuppelt mit einer Dynamomaschine von 60000 Kilowatt Leistung, eine sogenannte „Turbodynamo". Es ist das die größte bisher gebaute Maschine dieser Art, die während des Krieges von den Siemens-Schuckert-Werken in Berlin hergestellt wurde.

Wollte man Kraftmaschinen von höherem Nutzeffekt gewinnen, so mußte man wesentlich höhere Temperaturen und Drucke anwenden. Dieses Ziel wurde erreicht mit den Explosionsmotoren, die beides

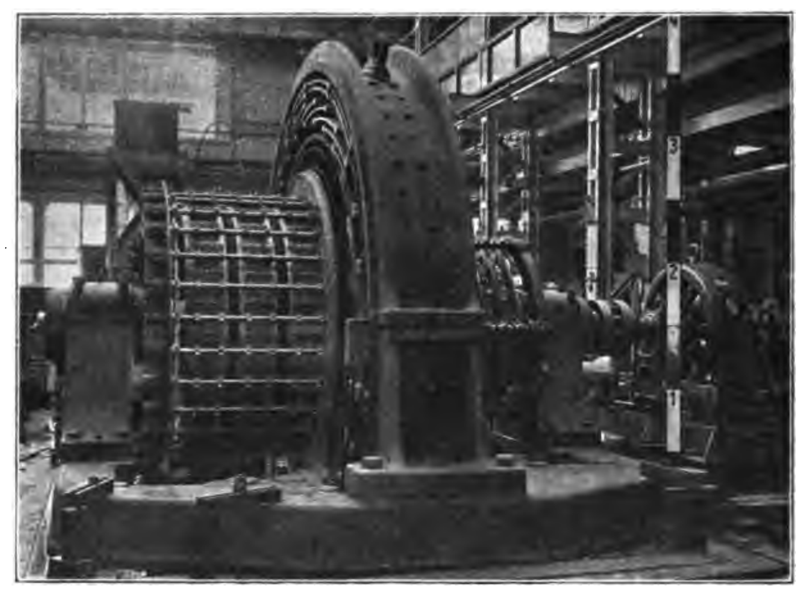


Abb. 34. Riesenturbogenerator von Siemens-Schuckert.

durch die Explosion eines brennbaren Gases oder Dampfes im Zylinder selbst erzielen, also in einem gegenüber dem Dampfkessel wesentlich kleineren Raume, der entsprechend mehr aushalten kann. Abb. 35 zeigt eine Maschinenhalle mit neun Nürnberger Gasmaschinen von insgesamt 20340 P. S.

Durch engen Anschluß an die Forderungen der Theorie ist es dem deutschen Ingenieur Diesel gelungen, besonders hohe Nutzeffekte zu erzielen, indem er die Luft durch rasche Kompression bis auf die Entzündungstemperatur der einzuspritzenden Flüssigkeiten erwärmte. Die besten Dieselmotore erreichen einen Nutzeffekt bis 35 v. H., so daß sie also ein volles Drittel der verfügbaren Wärme ausnutzen. Wegen des hohen Preises und der schwierigen Beschaffbarkeit des Heizmaterials arbeiten sie trotzdem nicht wesentlich wirtschaftlicher als die Dampfmaschinen.

Eine nahezu volle Ausnutzung der Kohlenenergie stünde erst dann in Aussicht, wenn es gelänge, den Umweg über die Wärmeenergie ganz zu vermeiden und sie unmittelbar in einem Kohleelement nach Art eines galvanischen Elements in elektrische Energie umzuwandeln. Diesen Weg

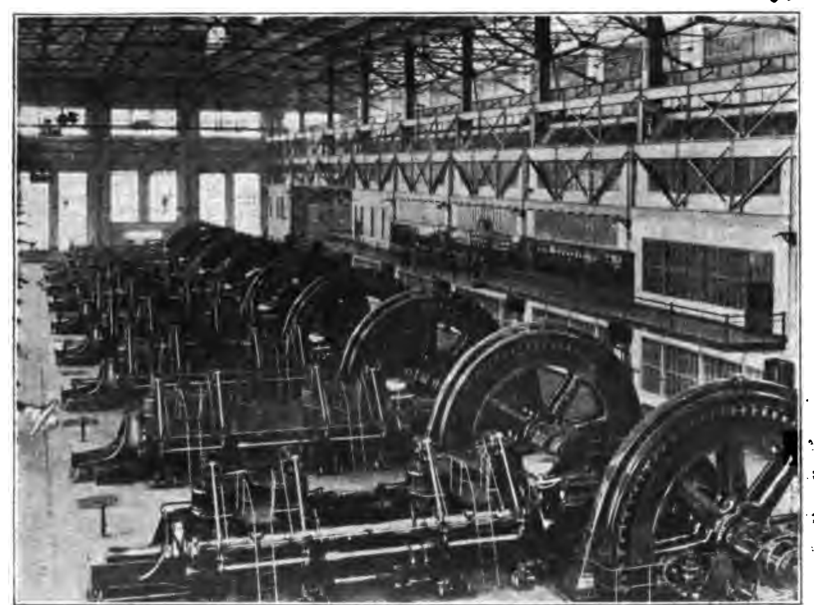


Abb. 35. Neun Gasmaschinen der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg von 20340 P. S. Gesamtleistung.

hat man zwar schon beschritten, ist aber vorläufig noch weit vom Ziele entfernt.

Die Ausnutzung der Wasserkräfte. Aber selbst wenn man es erreichte, würde die Erschöpfung unserer Kohlenvorräte nur um einige Jahrhunderte hinausgeschoben sein. Man muß sich daher nach neuen Energiequellen umsehen. Als solche hat man in letzter Zeit die Wasserkräfte in viel ausgiebigerem Maße heranzuziehen gelernt als früher, erstens dadurch, daß man die alten Wasserräder durch vorteilhafter arbeitende Wasserturbinen ersetzte, und zweitens dadurch, daß man die Leistung der einzelnen Turbine auf 10000 bis 20000 P. S. steigerte. Dadurch wurde man instand gesetzt, auch Riesenwasserkräfte wie den Niagarafall in entsprechendem Maßstab zu verwerten. Von seinen etwa 7 Millionen P. S. hat man bisher rund 300000 nutzbar gemacht.

Dabei hat es sich als außerordentlich wertvoll erwiesen, daß man dank der neuen Entwicklung der Elektrotechnik es lernte, die elektrische Energie ohne allzu große Verluste in verhältnismäßig dünnen



Abb. 36. Geplanter Kraftübertragungsbereich des Viktoriafalles, nach Europa versetzt.

Drähten auf weite Strecken hin zu übertragen, indem man die Wechsel- oder Drehströme auf hohe Spannungen transformierte und sie an den Verbrauchsstellen wieder in schwachgespannten Starkstrom umwandelte. So hat man einen Entwurf ausgearbeitet, den Viktoria-Wasserfällen des Zambesi in Afrika 250000 P.S. zu entnehmen und diese Energie mit 150000 Volt Spannung über 1100 km nach den Bergwerken von Natal und Transvaal zu leiten. In die Mitte von Europa versetzt, würde dieser Wasserfall seine Energie nahezu durch ganz Europa versenden können (Abb. 36).

In Deutschland waren Überschwemmungen im Rheinland und später

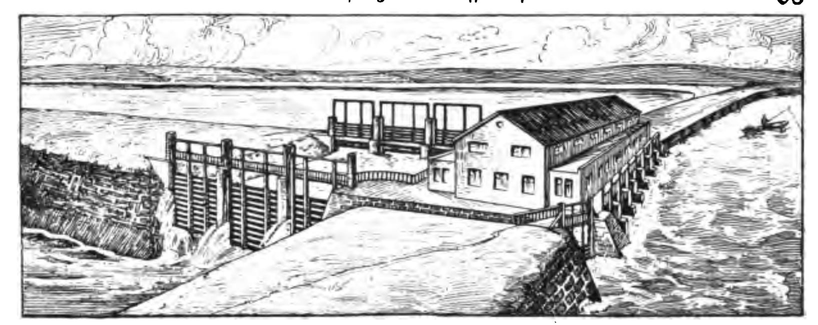


Abb. 37. Flutwerk mit Haupt- und Nebenbecken und einer Vorkammer geplant von Pein für Husum.

im Abflußgebiet des Riesengebirges der Anlaß zum Bau von Talsperren, denen Prof. Intze eine vorbildliche Form gab. Daneben wurden sie dem Zwecke der Kraftgewinnung dienstbar gemacht. Die Ausnutzung der Wasserkräfte der Schweiz und in Norwegen nimmt einen immer größeren Umfang an. Wie groß die gesamten Wasserkräfte der Erde sind, läßt sich ebensowenig genau angeben wie ihre Gesamtkohlenvorräte. Schätzen wir sie in rohem Mittelwert aus verschiedenen Angaben zu 100 Millionen Pferdestärken bei andauernder Leistung, so würden sie doppelt so groß sein als der augenblickliche Bedarf an mechanischer Energie, dagegen den Gesamtbedarf an Energie überhaupt nur zu einem Drittel befriedigen können. Denn 1 : 6 ist etwa das Verhältnis des Bedarfs an mechanischer Energie zum Gesamtenergiebedarf nach Scholl, wenn man die verschiedenen Nutzeffektzahlen der Kohlenverwendung für verschiedene Zwecke in Anschlag bringt. Danach würden schon jetzt die Wasserkräfte der Erde nicht ausreichen.

Da ist man neuerdings auf die Ausnutzung von Ebbe und Flut verfallen. Was man damit ausnutzt, ist die Energie der Erdumdrehung. Diese Energie berechnet sich auf 11 Trillionen Pferdekraft-Jahre, d. h. man würde den gegenwärtigen Energiebedarf damit decken können während eines Zeitraumes von etwa 40 Milliarden Jahren, oder auch den hundertfachen Betrag des gegenwärtigen Bedarfs während 400 Millionen Jahren. Da nun der Bedarf bei wachsender Bevölkerungsdichte und wachsenden Ansprüchen leicht auf diesen Betrag ansteigen kann und die Bewohnbarkeit der Erde sich wahrscheinlich nach Milliarden von Jahren bemessen wird, so erkennt man, daß selbst dieser große Energie-



Abb. 38. Windturbine „Athletmotor“ der Sächsischen Stahlwindmotorenfabrik Herzog in Dresden.

vorrat nicht unerschöpflich ist und nicht ungestraft in dem zuletzt angenommenen Maße in Anspruch genommen werden dürfte. Denn wenn einmal die Erde dauernd dasselbe Gesicht der Sonne zuwenden würde, was freilich auch die Aufzehrung der Umlaufsenergie des Mondes zur Voraussetzung hätte, so würde ihre abgekehrte Seite sich unter den Verflüssigungspunkt der Luft abkühlen, und die Luft würde dorthin abdestillieren. In Wirklichkeit liegt der Sachverhalt noch etwas anders. Denn Ebbe und Flut wirken energieverzehrend, auch wenn man sie nicht ausnutzt. Und da ein wesentlicher Teil ihrer Energie durch Brandung an den Festländern verzehrt wird, die Brandung aber verändert wird, wenn das

steigende Wasser in große Meeresbecken eintreten kann, so ist es fraglich, ob solche Ausnutzung der Brandung die Umdrehungsdauer der Erde merklich mehr vermindern würde, als sie ohnedem vermindert wird.

Wie dem auch sei, die Ausnutzung ist nicht leicht zu bewerkstelligen. Denn da die Höhenunterschiede des Wassers bei Ebbe und Flut nur wenige Meter betragen, muß man Staubecken von gewaltigem Umfange anlegen, um lohnende Energiebeträge zu gewinnen. Abb. 37 zeigt ein Flutstaubecken, das von Ingenieur Pein für Husum geplant ist. Die Abbildung zeigt zwei Becken, die abwechselnd sich unter Antrieb von Turbinen füllen und entleeren. Es ist anzunehmen, daß die Zahl solcher Anlagen zunehmen wird im selben Maße, als die Kohlen seltener und teuerer werden. Sie werden schwerlich je den ganzen Energiebedarf der Erde decken, aber immerhin willkommene Ergänzungen von anderen Energiequellen bilden.

Ein Ähnliches gilt für die Energie des Windes, der mit der Zeit auch mehr als bisher ausgenutzt werden wird. Abb. 38 zeigt eine Windturbine neuerer Bauweise.

Die Ausnutzung der Sonnenstrahlung und der gesamte Betrag ihrer möglichen Leistung auf der Erde. Viel günstiger sind die Aussichten zur Ausnutzung derjenigen Energie, die uns auch die Kohlenenergie beschert hat, nämlich der Sonnenenergie. Die Sonne strahlt dauernd jedem senkrecht getroffenen Quadratmeter an der Erdoberfläche 74 P. S., der ganzen Erde rund 160 Billionen Pferdestärken zu. Das ist ungefähr das 500000fache des gegenwärtig verbrauchten Betrages. Freilich sie mit erheblichem Nutzeffekt zu verwerten, hat man bisher noch nicht erreicht. Eine neuere Anlage von Shuman in Meadi bei Kairo zeigt Abb. 39. Von den darauf zu sehenden Parabolspiegeln werden die Sonnenstrahlen nach Röhren geworfen, in denen Wasser umläuft. Der dabei entwickelte Dampf treibt eine Dampfmaschine von 60 P. S. an, die samt Pumpanlage auf dem Bilde vorn rechts zu sehen ist. Da die Spiegel eine Fläche von etwa 1600 qm einnehmen, berechnet sich der Nutzeffekt der Anlage auf etwa 1/4 vom Tausend. Für eine ähnliche Anlage in Kalifornien berechnet er sich auf etwa 1 vom Tausend.

Es ist auch nicht zu erwarten, daß Anlagen ähnlicher Art überhaupt zu einem günstigen Wirkungsgrad gebracht werden können. Denn wenn man bedenkt, daß die Sonnentemperatur etwa 5500° C beträgt, so wird



Abb. 39. Sonnenkraftanlage nach Shuman in Meadi bei Kairo.

das Temperaturgefälle Sonnen-Erdtemperatur durch Wärmewirkung der Sonne nicht richtig ausgenutzt werden können nach dem, was früher über den Wirkungsgrad der Dampfmaschinen mitgeteilt worden ist.

Das Verfahren, dessen sich Forst- und Landwirtschaft bedient, um die Sonnenenergie auszunutzen, beruht auf der Absorption der Sonnenstrahlen in dem Chlorophyll, das die Pflanze befähigt, den Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Luft zu assimilieren. Dabei wird ein größerer Teil der Lichtenergie nutzbar gemacht als bei dem Sonnendampfmotor, aber doch nur 0,5 bis 2 v. H.

Verschiedene Wege lassen sich denken, den Wirkungsgrad der Sonnenstrahlenenergiespeicherer zu verbessern; zunächst die Verbesserung des Forstbetriebs, insbesondere die Züchtung von Bäumen, die einen höheren Energieumsatz gewährleisten; dann die Schaffung geeigneter Stoffe, die durch Absorption Lichtenergie speichern; endlich die Zusammensetzung lichtelektrischer Elemente, die in höherem Maße als die schon von Becquerel angegebenen die Lichtenergie unmittelbar in elektrische umsetzen. Der Bau eines Sonnenstrahlenakkumulators ist in der Tat eine der wichtigsten Aufgaben der künftigen Technik. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß diese Frage dann gelöst sein wird, wann sie dringende Notwendigkeit geworden ist. Die Vertiefung unserer elek-

tro-optischen und elektro-chemischen Kenntnisse wird dazu eine wesentliche Voraussetzung bilden. In dieser Hinsicht kann das Menschengeschlecht getrost in die Zukunft blicken.

2. Höhenstufe und Fassungsvermögen der fremden und umgewandelten Energien.

Höhenstufe und Fassungsvermögen der Energie. Will man der Wirkungsweise der Energien nähertreten, so hat man zu beachten, daß



Abb. 40. 250 t Hammerwippdrehkran in hochgeklappter Stellung 104 m über dem Wasser bei Blohm & Voß, Hamburg, ausgeführt durch die Deutsche Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.



Abb. 41. Elektromagnet zum Heben von Eisenstücken.

nach einem allgemeinen, besonders von Mach und Ostwald hervorgehobenen Satze der Energielehre jede Energie in zwei Faktoren von wesentlich verschiedener Bedeutung zerlegt werden kann. Die Hubenergie z. B. in Hubhöhe und Last. Die Hubhöhe bezeichnet man als die Höhenlage oder Intensität der Energie, das Gewicht als das Fassungsvermögen oder die Kapazität der Energie. Ohne vollständig ordnungsgemäß diese Dinge erschöpfen zu wollen, können wir jene Gesichtspunkte doch als Leitfaden für die folgenden Betrachtungen benutzen.

Fassungsvermögen bei der Hubarbeit. Krane. Beginnen wir mit der einfachen Hubarbeit. Ihre Kapazität, d. h. das gehobene Gewicht, beträgt bei dauernden Leistungen des auf sich angewiesenen Menschen nur einen Bruchteil seines eigenen Gewichtes, wenn auch Athleten bis etwa 30 Ztr. aufheben können. Unsere Krane heben dagegen bis 5000 Ztr. oder 250 t. Abb. 40 zeigt einen Turmdrehkran, der ein solches Gewicht zu heben und umzuladen imstande ist. Wie ein Riese nimmt er sich aus, der mit gewaltigen Armen Übermenschliches vollbringt, ein schlagendes Beispiel für die Erweiterung menschlicher Gliedmaßen.

Bei diesen Hebekranen wird neuerdings, um sich die Mühe des Festmachens und Loslösens der Last zu ersparen, die dem menschlichen Körper fremde magnetische Kraft zu Hilfe genommen. Abb. 41 zeigt einen Hebeelektromagnet, der eine Anzahl Roheisenstücke aus einem Wagen herausgreift, wobei der Maschinist nichts anderes zu tun hat, als im gegebenen Augenblick den elektrischen Strom zu schließen.

Mit großem Vorteil werden in Fabriken fahrbare Hebekrane

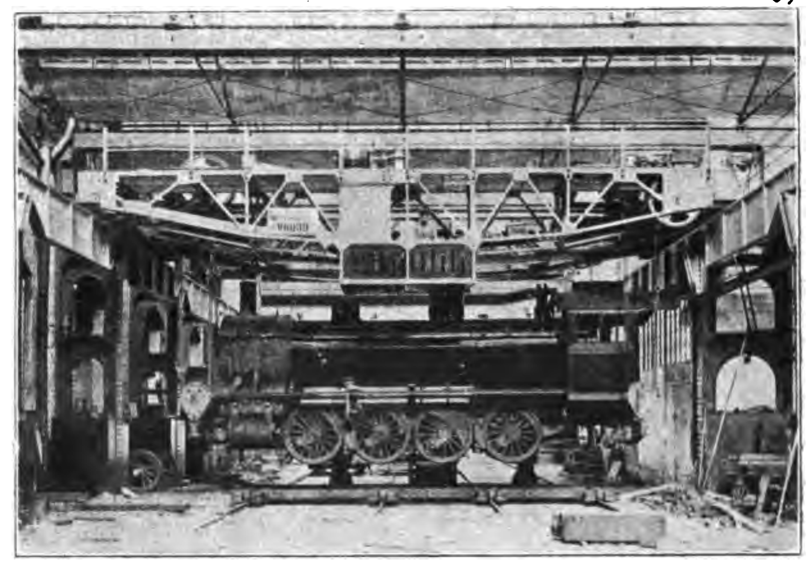


Abb. 42. Elektrisch betriebener Lokomotiv-Hebekran von 90 t Tragkraft der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.

verwendet. Abb. 42 zeigt einen solchen von 90 t Tragkraft, der eine ganze Lokomotive zu heben und fortzubewegen gestattet. Der eiserne Hebekran ermöglicht aber nicht bloß, große Gewichte zu heben, sondern auch auf große Höhen zu heben. Abb. 43 zeigt einen solchen, wie er bei der Ausführung von Hochbauten verwendet wird, wodurch Baugerüste teilweise oder ganz überflüssig werden.

Höhenstufe der Energie der Bewegung. Geschoßgeschwindigkeiten. Gehen wir zur Bewegungsenergie über, so wird ihre Intensität oder Höhenlage durch die Geschwindigkeit des bewegten Köpers bestimmt. Die Anfangsgeschwindigkeit, die ein kräftiger Werfer einem Ball günstigstenfalls erteilen kann, beträgt 40 m/sec. Die Geschwindigkeit, die wir aber unseren Geschossen durch die Verwendung der chemischen Energie des Pulvers erteilen, reichte schon vor dem Weltkrieg bis über 1200 m/sec. Abb. 44 zeigt zu einer älteren Kruppschen Luftabwehrkanone die Geschoß-Flugbahnen, deren eine den Himalaya weit übersteigt. Die mutmaßliche Flugbahn des Paris-Ferngeschützes, das die ganze Welt in Staunen gesetzt hat, zeigt Abb. 44a.

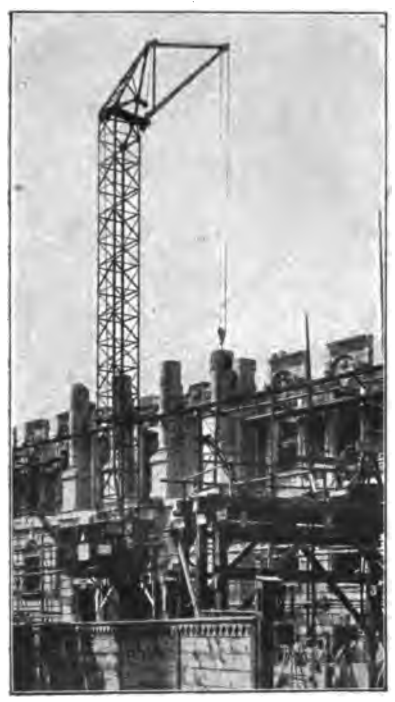


Abb. 43. Fahrbarer Mastenkran von Voß & Wolter in Berlin.

Verkehrsgeschwindigkeiten. Die Stundengeschwindigkeit der eigenen Fortbewegung beträgt bei rüstigen Dauergängern 5 bis höchstens 8 km und wurde bei dem 40-km-Dauerlauf eines Marathonläufers auf 16,4 km gebracht. Unsere Schnellzüge dagegen fahren mit Stundengeschwindigkeiten von 80 bis 100 km, im Ausland teilweise bis 120 km. Will man noch größere Geschwindigkeiten erzielen, so muß man auf Dampfmaschinen verzichten wegen der mit dem Hin- und Hergehen des Kolbens verbundenen Erschütterungen und der daran geknüpften Entgleisungsgefahr. Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde auf der Strecke Marienfelde-Zossen bei Berlin eine elektrische Versuchsbahn in Betrieb gesetzt, bei der der Strom in unmittelbar auf den Achsen angebrachte, umlaufende Elektromotoren eingeleitet wurde. Ein besonders kräftiger Maschinenunterbau erhöhte die Sicherheit. Mit dieser Bahn erzielte man Geschwindigkeiten bis zu 207 km in der Stunde.

Die Vorwärtsbewegung im Wasser kann wegen des großen Wasserwiderstandes nicht so rasch erfolgen wie auf dem Lande. Um die Entwicklung kurz zu überblicken, betrachten wir (Abb. 45) ein bei Nydam in Schleswig gefundenes Wikingerboot und (Abb. 46)

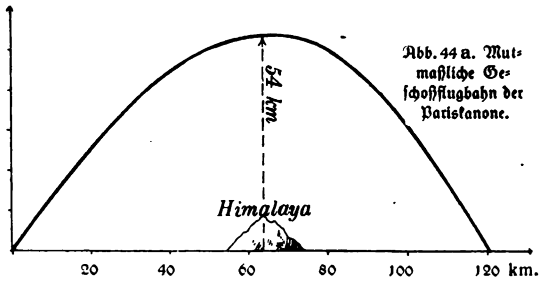
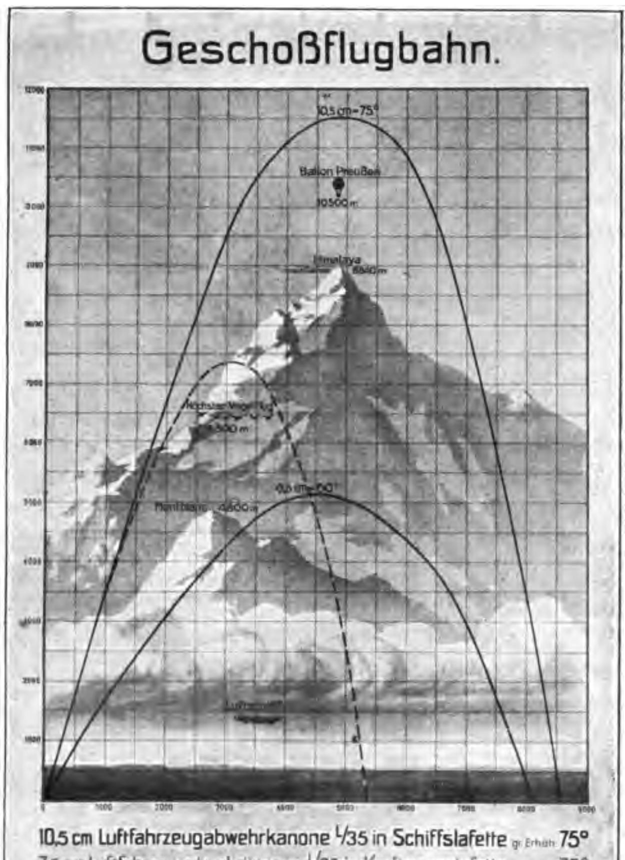


Abb. 44 a. Mutmaßliche Geschoßflugbahn der Pariskanone.



Geschoßflugbahn.
10,5 cm-75°
Ballon Preußen
10500 m
10,5 cm Luftfahrzeugabwehrkanone L/35 in Schiffslafette gr. Erhöh. 75°
7,5 cm Luftfahrzeugabwehrkanone L/35 in Kraftwagenlafette gr. Erhöh. 75°
6,5 cm Luftfahrzeugabwehrkanone L/35 in Feldlafette gr. Erhöh. 60°

Abb. 44.



Abb. 45. Wikingerboot, bei Nydam in Schleswig gefunden.

eines der größten Schiffe: den früheren „Imperator“ der Hamburg-Amerika-Linie mit 50000 Brutto-Register-Tonnen und einer noch größeren Wasserverdrängung. Die Geschwindigkeit der Schiffe dieser Art beläuft sich auf 43 bis 48 km in der Stunde.

Handelt es sich darum, Personen auf schnellste Weise zu befördern, so kann dafür nur das Flugzeug in Frage kommen. Die bisher erzielte Höchstgeschwindigkeit beträgt 306 km in der Stunde, und es scheint durchaus möglich zu sein, sie noch weiter zu steigern. Legen doch

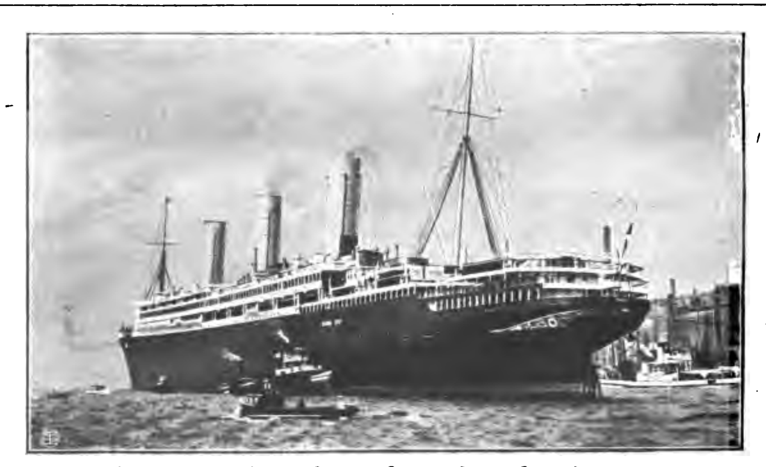


Abb. 46. Größtes früheres Schiff der Hamburg-Amerika-Linie „Imperator“.

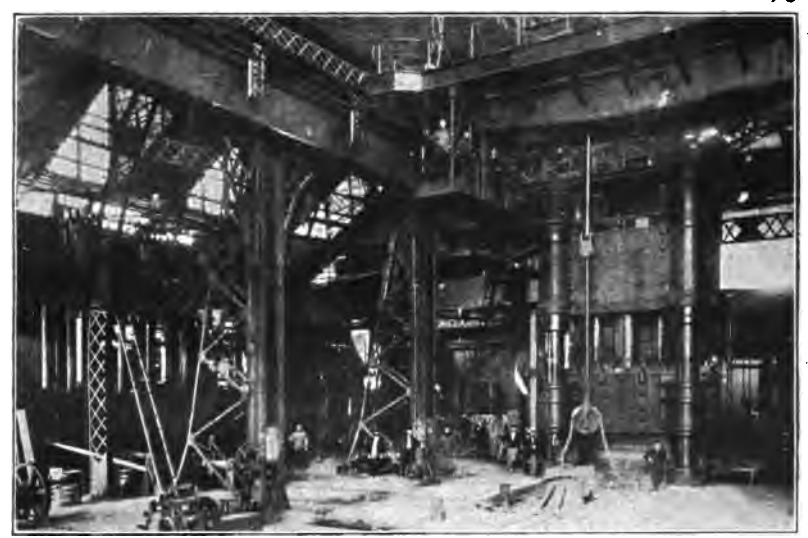


Abb. 47. Schmiedepresse von 10000 Tonnen Preßdruck der Kalker Werkzeugmaschinenfabrik Breuer, Schumacher & Co. A.-G.

Zugvögel mitunter 100 m in der Sekunde zurück, also 360 km in der Stunde. Den gegenüber dieser Angabe geäußerten Zweifeln mag entgegengehalten werden, daß die Vögel in großen Höhen fliegend, dort herrschende starke Luftströme und entsprechende Windschwankungen ausnutzen können. Für Flugzeuge erscheint es unter Benutzung aller Vorteile, von denen die Geschwindigkeit abhängt, innerhalb des Bereichs des Möglichen zu liegen, sie bis auf 420 km in der Stunde hinaufzusetzen, zum mindesten bei kurzen Flugstrecken. Für längere wird man dann 300 km in der Stunde für erreichbar halten können. Damit würde man den Weg von Europa nach Amerika längs der kürzesten Linie in etwa zehn Stunden zurücklegen.

Höhenstufe und Fassungsvermögen der Druckenergie. Gehen wir zur Betrachtung von Druckwirkungen über, so können wir mit unserem eigenen Körper ohne weiteres nur einen Druck erreichen, der dem Körpergewichte gleichkommt. Dagegen zeigt Abb. 47 eine Schmiedepresse von 10000 t Preßdruck.

Druck können wir auch erzeugen mit der Lunge. Ist doch der Glasbläser gezwungen, sich dieses natürlichen Gebläses zu bedienen. Dabei

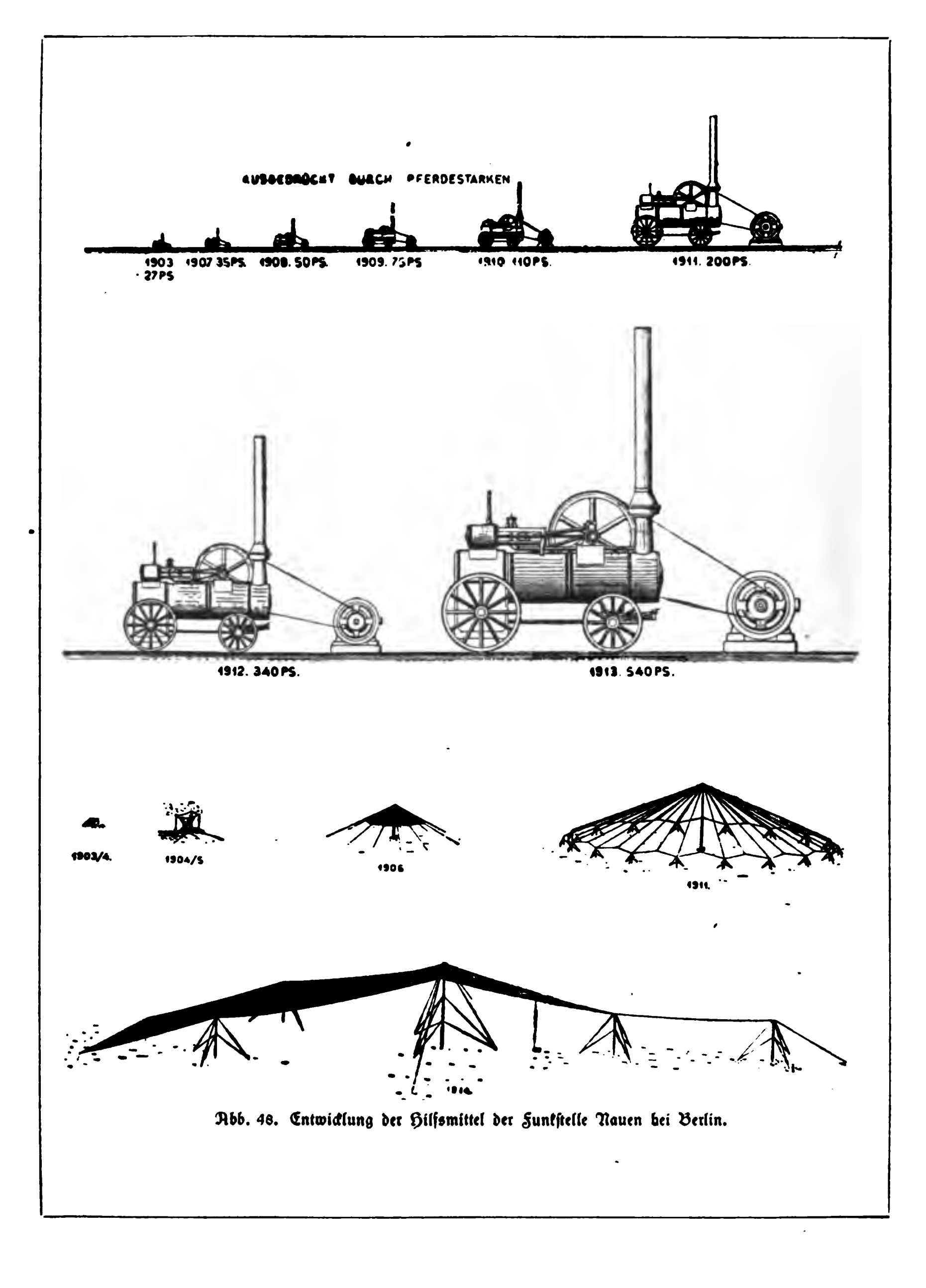


Abb. 48. Entwicklung der Hilfsmittel der Funkstelle Nauen bei Berlin.



Abb. 49. Blick aus einem 250 m hohen Antennenturm auf das Amtsgelände in Nauen.

spielt das Fassungsvermögen der Druckenergie, das ist hier das unter Druck ausgestoßene Luftvolumen, eine wichtige Rolle. Ein Fassungsvermögen der Lungen von 5 l ist bereits ziemlich hoch. Dieses läßt sich bei künstlichen Gebläsen in jeder wünschenswerten Weise steigern. Indem man aber durch Flaschenblasmaschinen den Glasbläser ersetzt, leistet man noch etwas Besonderes: man befreit ihn von der erschöpfenden und auf die Dauer gesundheitsschädlichen Arbeit.

Natürliche und künstliche Rufweite. Drahtlose Telegraphie. Von der Kraft unserer Lungen hängt auch die Weite unseres Rufes ab, die, wenn es hochkommt, sich auf 1000 m belaufen mag. Wenigstens können Ballonfahrer sich gelegentlich aus 1 km Höhe mit Personen auf der Erde verständigen.

Wie weit dringt aber unser künstlicher Ruf? Für einen solchen sind wir nicht allein auf den Schall angewiesen. Überspringen wir alle möglichen Verfahren zum Zeichengeben in die Entfernung, wozu wir Licht und Elektrizität heranziehen, so reicht am weitesten der Ruf der drahtlosen Telegraphie; wenigstens wenn man darunter ein nach allen Seiten gleicherweise gerichtetes Zeichen versteht; denn die elektrische Telegraphie durch Draht ist an keine Grenze gebunden. Abb. 48

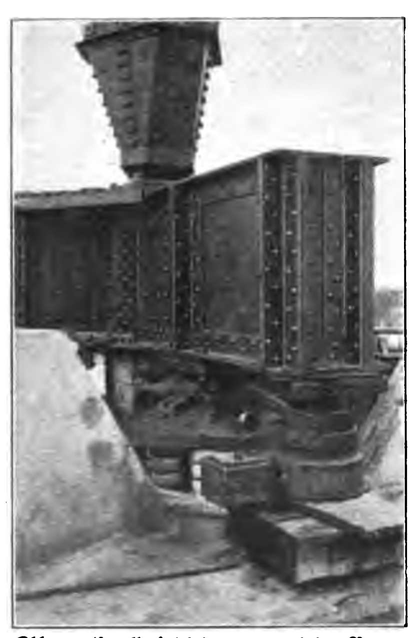


Abb. 50. Porzellansockel des 250 m hohen Nauener Turmes im Bau.

zeigt die Entwicklung der Hilfsmittel der Funkstelle Nauen bei Berlin, deren Vorbild in der Nauener Station selbst aufgehängt ist. Die Größe der dargestellten Lokomotiven veranschaulicht die Zahl der verwandten Pferdestärken, die sich 1913 auf über 500 belief. In gleicher Weise sieht man das Heranwachsen der Ausdrähte oder Antennen dargestellt. Es ist vorteilhaft, sie möglichst hoch über den Erdboden zu führen, und so benutzt man in Nauen Türme bis 250 m Höhe. Abb. 49 zeigt den Blick von einem solchen auf das Amtsgebäude. Er muß daneben noch das Kunststück leisten, gegen die Erde elektrisch isoliert zu sein. Das geschieht, indem man den ganzen Turm, wie Abb. 50 zeigt, auf eine Porzellanunterlage stellt. Abb. 51 zeigt das Innere des Amtsgebäudes mit den Apparaten. Der Morsetaster - links vorn - besteht in diesem Falle aus einer Zahl von Kontakten, die über ein Quadratmeter Fläche beanspruchen und beim Geben der Morsezeichen einen Lärm vollführen wie ein Stampfwerk.

Die Funksprüche dieser Stelle wurden schon während des Krieges nahe ihrem Gegenpunkt (Antipodenpunkte), nämlich in Awanui auf Neu-Seeland, aufgefangen. Ihre Reichweite umfaßt also die ganze Erde.

Dieser Erfolg ist nicht bloß der Leistungsfähigkeit der Sendervorrichtungen zu verdanken, sondern auch der Empfänger, die während des Krieges eine gewaltige Entwicklung erfahren haben. Verstärkerröhren nehmen die elektrischen Schwingungen auf und benutzen einen Elektronenstrom als Vorspann. Mit dreien solcher Röhren kann eine tausendfache Verstärkung erzielt werden.



Abb. 51. Apparateraum der Funkstelle Nauen.

Hohe und tiefe Temperaturen. Wenden wir uns der Betrachtung der Wärmeenergie zu, so können wir ohne künstliche Hilfsmittel fremden Körpern höchstens die Körpertemperatur erteilen. Wie sehr die Erfindung des künstlichen Feuers als Kulturtat ersten Ranges von jeher gegolten hat, das zeigt die schöne Sage der Griechen, die den Prometheus dem Menschengeschlecht das Feuer vom Himmel herunterbringen läßt. Ein Bild, das diesen Vorgang darstellt, schmückt die Wandelhalle der Leipziger Universität.

Die Entwicklung der Verfahren zur Erzeugung der hohen Temperaturen zum Schmelzen und Gießen kennzeichnet in hohem Maße die Entwicklung der ganzen Technik; eine Entwicklung, an der freilich die Chemie einen wesentlichen Anteil genommen hat. Abb. 52 zeigt einen elektrischen Gießwagen von 2000 kg Fassungsvermögen, der das aus dem Hochofen entnommene Gußeisen in Formen gießt - siehe den hellen Strahl im Bilde links. Die höchsten Temperaturen kann man mit dem elektrischen Flammenbogen herstellen, der bereits bei Atmosphärendruck eine absolute Temperatur von 3900° aufweist. Indem

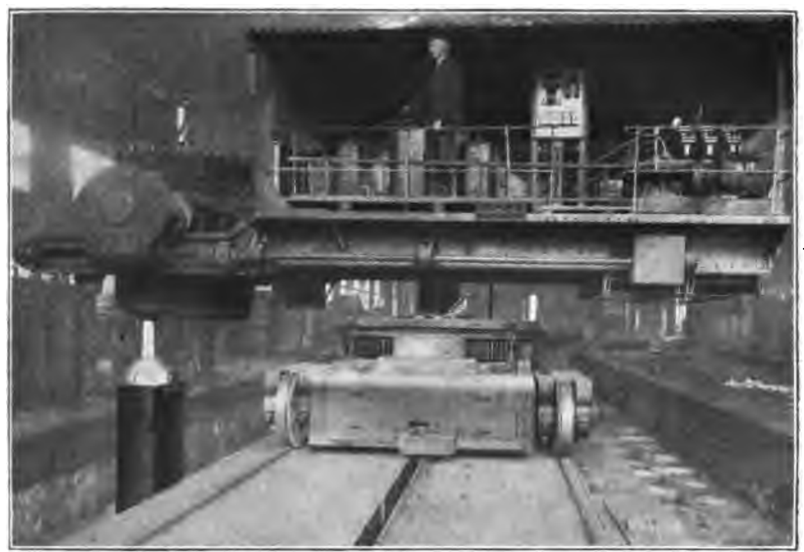


Abb. 52. Elektrischer Gießwagen v. 2000 kg Fassungsvermögen der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg.

Lummer den Lichtbogen unter erhöhtem Druck brennen ließ, gelang es ihm, absolute Temperaturen bis 7400° herzustellen, eine Temperatur, die bereits weit über der Sonnentemperatur liegt.

Nicht ohne Wichtigkeit ist auch die Herstellung tiefer Temperaturen; und auch hier ist es in letzter Zeit gelungen, Erstaunliches zu leisten. War es doch dieser Weg allein, der die Verflüssigung der Gase ermöglichte, die lange Zeit als permanente Gase oder Dauergase gegolten haben, so der Luft, des Sauerstoffs, des Stickstoffs, des Wasserstoffs und schließlich dank der Bemühungen von Kamerlingh-Onnes in Leiden des Heliums. Nun ist das wissenschaftliche Temperaturmaß, die absolute Temperatur, derartig eingerichtet, daß es einen endlichen Nullpunkt besitzt (−273° C). Das ist die Temperatur im leeren Weltall in unendlich großer Entfernung von allen wärmestrahlenden Körpern, und diesem absoluten Nullpunkt hat sich Kamerlingh-Onnes bei seinen Versuchen bis auf rund 1° genähert.

Große Lichtstärken und hohe Spannungen. Die natürliche Fähigkeit, mit unserem Körper Licht zu erzeugen, besitzen wir nicht und stehen darin gewissen Tieren nach, die wie der Leuchtkäfer und einige

Tiefseefische eigene Leuchtorgane besitzen. Die Technik der künstlichen Beleuchtung hat sich im 19. Jahrhundert gewaltig entwickelt. An Stelle der bescheidenen Unschlittkerze und Öllampe zu Beginn des 19. Jahrhunderts trat die Gasbeleuchtung ohne und mit Auerstrumpf, das elektrische Kohlenfadenglühlicht, die Nernstlampe, die Metallfadenlampe, die Nitralampe und die Bogenlampe. Auch hier war in letzter Zeit die Theorie führend, nach der die spezifische Lichtstärke eines glühenden Körpers außerordentlich mit dessen Temperatur anwächst. Die ganze Entwicklung der Technik ging darauf hinaus, dem leuchtenden Körper eine immer höhere Temperatur zu erteilen.



Abb. 53. Elektrisches Leuchtfeuer auf Helgoland.

Schon die bescheidensten Kohlenfadenlampen hatten eine Stärke von 16 Kerzen. Jetzt benutzen wir für Zimmerbeleuchtung 25- bis 100kerzige Lampen, für Straßenbogenlampen solche von einigen 1000 Kerzen. Der Leuchtturm von Helgoland, den Abb. 53 zeigt, besitzt eine Stärke von 3500 Kerzen; durch genaue Parabolspiegel wird aber sein Blinklicht so zusammengehalten, als ob es für die großen Entfernungen, in denen es schon gesehen werden soll, eine Stärke von 30 Millionen Kerzen besäße.

Werfen wir zum Schluß noch rasch einen Blick auf die Erzeugung hoher Spannungen, so zeigt Abb. 54 einen Funkenstrom von etwa 4 m Länge, der von einer Teslaspule mit Hilfe einer Spannung von einigen Millionen Volt erzeugt wird.

3. Die Formung des Stoffes unter Ausnutzung fremder Energien.

Unterschied der technischen und natürlichen Arbeitsverfahren. Wir wollen jetzt der Frage nähertreten, welcher Hilfsmittel der Mensch sich zum Formen des Stoffes einer Verlängerung und Erweiterung



Abb. 54. 4 m lange Funken aus einer Teslaspule der Berliner Urania.



Abb. 55. Dampfhydraulische Panzerplattenbiegepresse mit 10000 Tonnen Druck der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.



Abb. 56. Walzwerk der Kalker Werkzeugmaschinenfabrik Breuer, Schumacher & Co. A.-G.

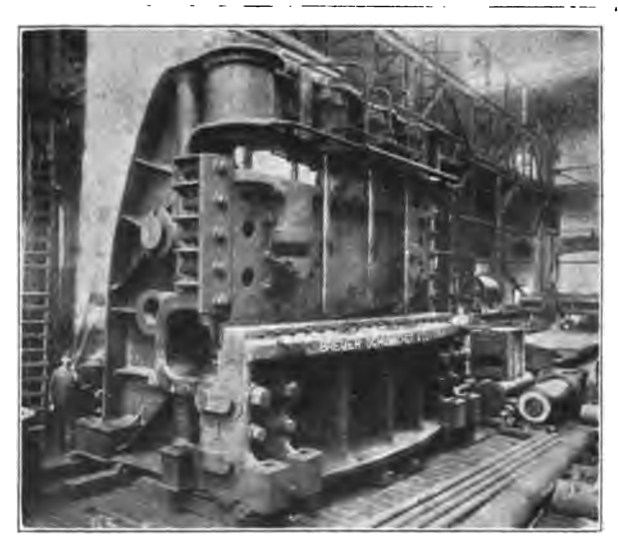


Abb. 57. Hydraulische Blechschere für 4 m Breite und 5 cm Dicke der Kalker Werkzeugmaschinenfabrik Breuer, Schumacher & Co. A.-G.

seiner Gliedmaßen bedient. Dabei will ich von vornherein betonen, daß sich diese Hilfsmittel keineswegs auf eine Nachahmung unserer natürlichen Gliedmaßen beschränkt haben, ein Verfahren, das man bisweilen als Organprojektion bezeichnet hat. Wenn dieses Verfahren auch in der Kindheit der Technik und bei Beginn der Übertragung der Handarbeit auf Maschinen eingeschlagen wurde, so traten doch gerade die wesentlichsten Fortschritte in dem Augenblicke ein, da man sich von solcher Nachahmung vollständig freimachte und der Technik eigentümliche Arbeitsformen einführte. Damit meine ich vor allem die Einführung umlaufender Maschinen im Gegensatz zu der den menschlichen Gliedmaßen angepaßten Form der Hin- und Herbewegung.

Auch dieses Gebiet ist zu weit, als daß wir es in genauer Ordnung durchstreifen könnten. Wir beschränken uns auf einige besonders eindrucksvolle Leistungen der Technik.

Formänderung ohne Minderung der Masse. Betrachten wir einige Arten der Formänderung ohne Minderung der Masse, so zeigt Abb. 55 eine dampfhydraulische Panzerplattenbiegepresse mit 10000 t Druck, Abb. 56 eine Walzmaschine, die glühende Eisenstäbe zwischen umlaufenden Rädern durchpreßt, wobei sich ihre Länge immer mehr vergrößert. Mit außerordentlicher Geschwindigkeit werden auf diesem Wege Schienen, Träger, Drähte hergestellt.

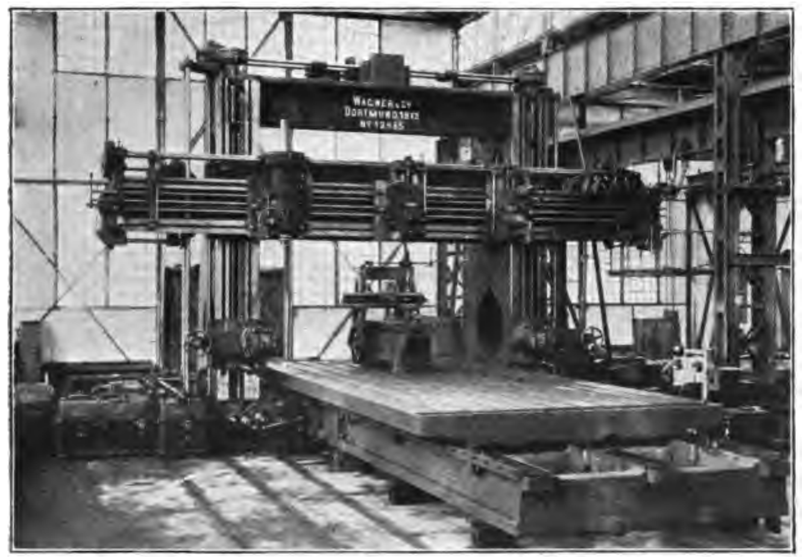


Abb. 58. Hobelmaschine mit 10 m Hobellänge, 5 m Hobelbreite und 4 m Hobelhöhe von Wagner & Co. Dortmund.

Abb. 57 zeigt auf dem Gebiete der Trennung der Körper eine hydraulische Blechschere für Bleche von 4 m Länge und 5 cm Stärke.

Formänderung unter Minderung der Masse. Auf dem Gebiete der Verarbeitung unter Minderung der Masse zeigt Abb. 58 eine Hobelmaschine von 10,5 m Hobellänge, 5 m Hobelbreite und 4 m Hobelhöhe, Abb. 59 eine Karusselldrehbank mit 15 m Drehdurchmesser bei 7½ m Höhe und 400 Tonnen Gewicht, wohl die bisher größte spanabhebende Werkzeugmaschine. Abb. 60 zeigt noch eine mehrspindlige Bohrmaschine zum Bohren der Nietlöcher von Kesselringen.

Den gewaltigen Unterschied der Leistung der Maschinenarbeit gegenüber der Handarbeit zeigen die Abb. 61 und 62. Die erste zeigt ein Steinbeil, in das ein Indianer mühsam trotz seinem urwüchsigen Werkzeug mit der Hand ein Loch bohrt, die zweite eine 45 m lange, mit Maschine hohl ausgebohrte Stahlwelle von Krupp. Ähnliche Abbildungen sind in dem vortrefflichen Werke von Max Geitel enthalten: „Der Siegeslauf der Technik".

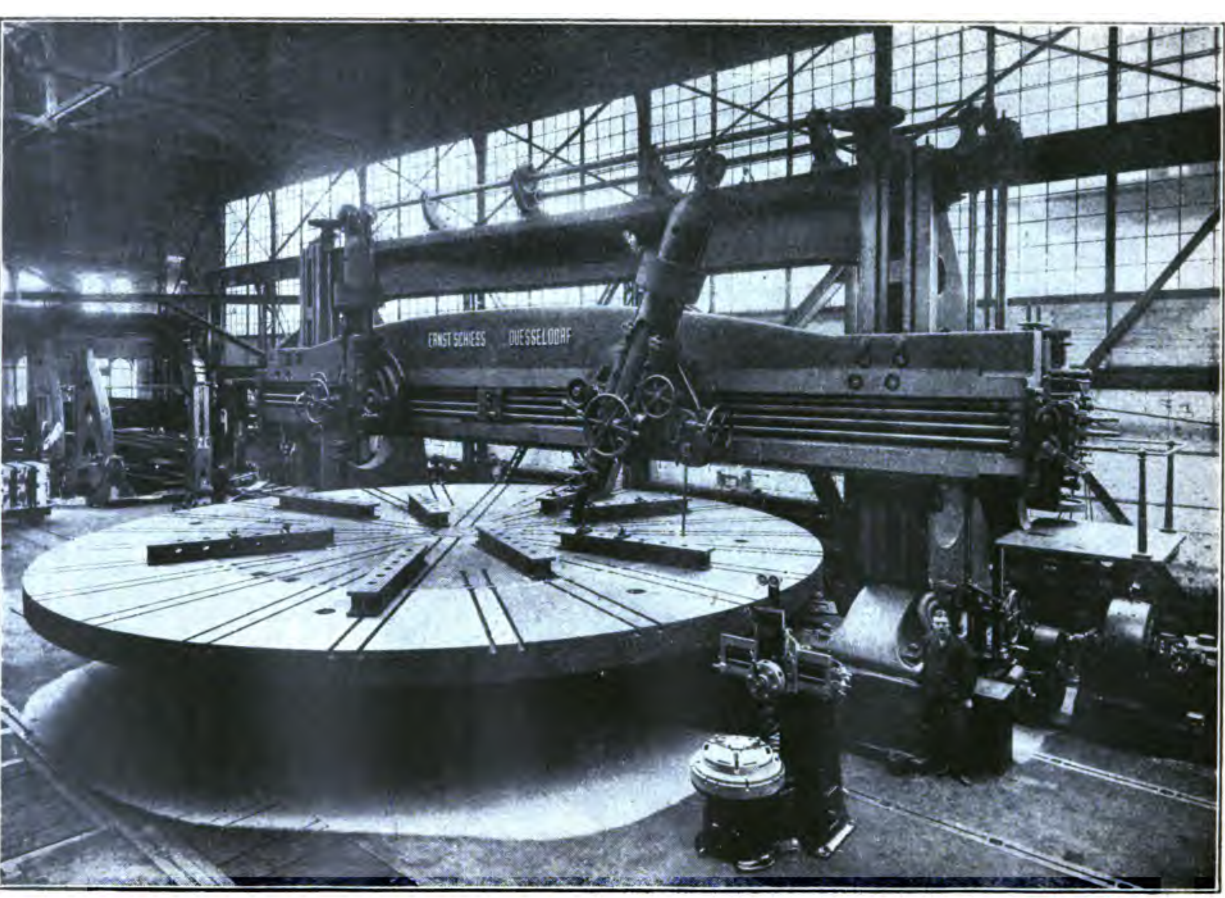


Abb. 59. Karussellddrehbank mit 15 m Durchmesser bei $7^1/_2$ m Höhe und 400 Tonnen Gewicht der Maschinenfabrik Ernst Schieß in Düsseldorf.



Abb. 60. Mehrspindlige Bohrmaschine zum Bohren der Nietlöcher von Kesselringen der Maschinenfabrik R. Wolff, Magdeburg-Buckau.



Abb. 61. Steinbohrer bei den Zuñi, Nordamerika.



Abb. 62. 45 m lange hohlausgebohrte Stahlwelle von Krupp.

4. Ingenieurbauten und ihre Schönheit.

Bautätigkeit. Werfen wir noch einen Blick auf diejenige zusammengesetzte Tätigkeit des Menschen, die von jeher als Merkmal seiner Kulturhöhe gegolten hat, ich meine die Bautätigkeit. Welch ein Gegensatz zwischen der roh zusammengefügten Hütte eines Naturmenschen und unseren hoch in die Lüfte ragenden Eisenbauten, etwa dem Eiffelturm von 300 m Höhe (Abb. 63)!



Abb. 63. Eiffelturm.

Welch ein Gegensatz zwischen der gebrechlichen Hängebrücke der Ureinwohner Afrikas (Abb. 64) und der hochgespannten Eisenbrücke über den Argentobel, die Abb. 65 mitten im Bau begiffen zeigt, wie sie, ohne eines Hilfsgerüstes zu bedürfen, von dem Bergrücken aus über das Tal vorgebaut wird.

Drucklinien und die Schönheit der Linienführung. Zugleich bemerkt man, daß die Konstruktionslinien solcher Eisenbauten einer gewissen natürlichen Schönheit nicht entbehren. Das Geheimnis dieser Schönheit liegt darin, daß sie mit einem Mindestaufwand von Mitteln ein Höchstmaß von Leistung verbinden. Die zutage tretenden Linien sind die Drucklinien, denen entlang die Last übertragen wird. Daß der Ingenieur dabei ähnlich schafft wie



Abb. 64. Hängebrücke der Ureinwohner bei Tinto in Kamerun.



Abb. 65. Brücke über den Argentobel im Allgäu, im Bau.

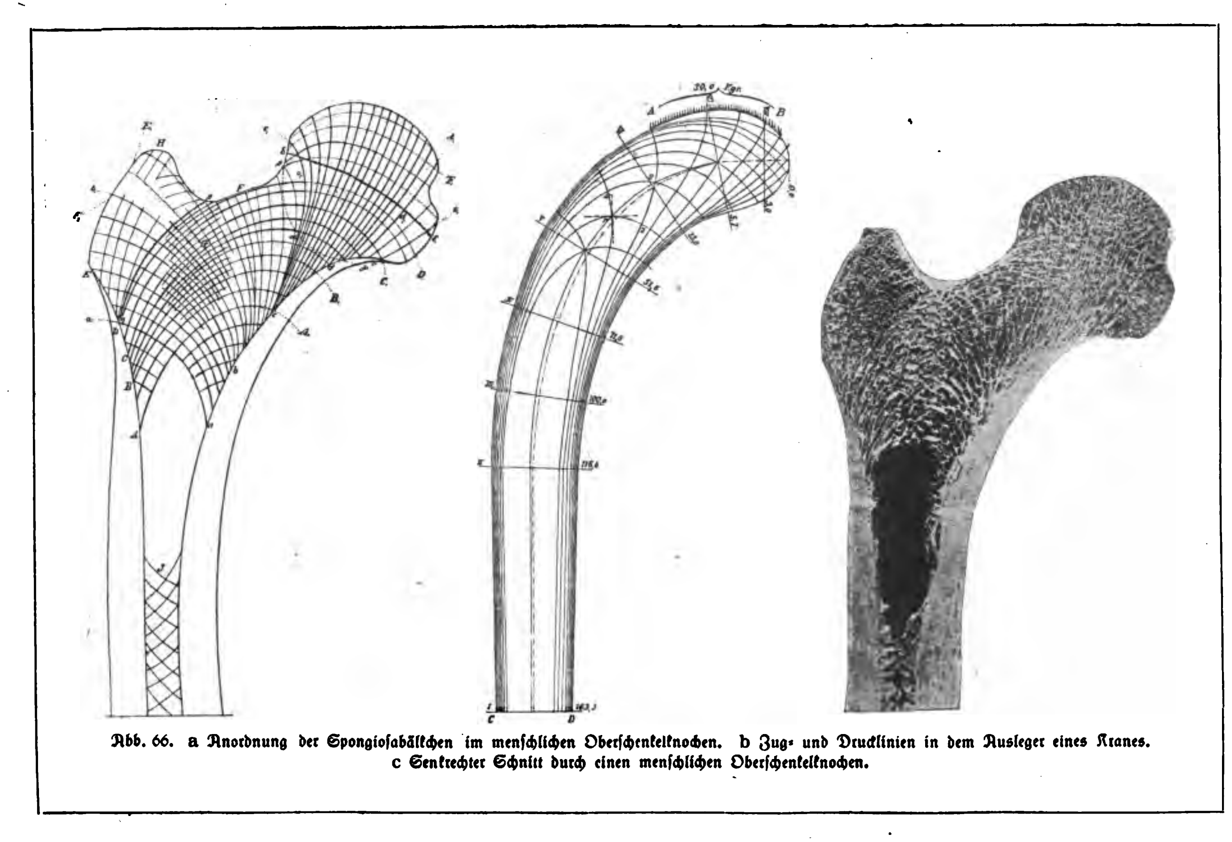


Abb. 66. a Anordnung der Spongiosabälkchen im menschlichen Oberschenkelknochen. b Zug- und Drucklinien in dem Ausleger eines Kranes. c Senkrechter Schnitt durch einen menschlichen Oberschenkelknochen.

die unbewußt zweckmäßig und schön gestaltende Natur, lehrt Abb. 66, die in a den Entwurf der Knochenbälkchenlinien des in c dargestellten menschlichen Oberschenkelknochens zeigt gegenüber den in b dargestellten Zug- und Drucklinien des Auslegers eines Kranes.



Abb. 67 a. Unschönes Transformatorenhaus.

Häßliche und schöne Ingenieurbauten. Hiermit komme ich zu einem letzten Punkte, der Frage der Schönheit der Ingenieurbauten. Kein Zweifel, die Technik hat im 19. Jahrhundert durch eine gewisse Roheit der Formen häufig abgestoßen, und das wird von ihren Vertretern auch unumwunden zugegeben. Es ist aber zu begreifen, wenn in den Zeiten des Übergangs und der heftigen Entwicklung der Hauptblick auf das Notwendigste gerichtet ist. Bei den immer neu aufkommenden Aufgaben schwierigster Art war man froh, überhaupt Lösungen gefunden zu haben. Nachdem die Meisterschaft in der Lösung dieser Aufgaben erreicht war, geleitet durch eine mit allen Mitteln der Mathematik und Physik tief eindringende Ingenieurwissenschaft, begann man sich darüber klarzuwerden, daß die Schönheit der Form nicht vernachlässigt werden dürfe, die in der ruhigen Entwicklung des Mittelalters mit der be-



Abb. 67 b. Pumpwerk mit Wasserturm.

scheideneren Technik Schritt gehalten hatte.

Mit dieser Frage hat sich Prof. Franz-Charlottenburg in einem ausgezeichneten Vortrag über Werke der Technik im Landschaftsbild beschäftigt,



Abb. 68 a. Unschöne Brücke.

wobei er schöne Lösungen von technischen Aufgaben minder schönen oder häßlichen gegenüberstellt. Seiner Veröffentlichung entnehme ich einige Bilder. So zeigt Abb. 67 a ein unschönes Transformatorenhaus und Abb. 67 b die bessere Lösung einer ähnlichen Aufgabe, nämlich ein Pumpwerk mit Wasserturm. Trotz seiner Einfachheit kann man ihm eine gewisse Schönheit nicht absprechen.

Abb. 68 a zeigt eine wenig schöne Brücke mit einem hängebauchartigen Stützgerüst neben einer schönen Brücke (Abb. 68b), die in natürlicher Weise bogenartig den Druck nach der Seite überträgt. Man glaubte früher, die Schönheit der Brücken dadurch heben zu



Abb. 68 b. Schöne Brücke.

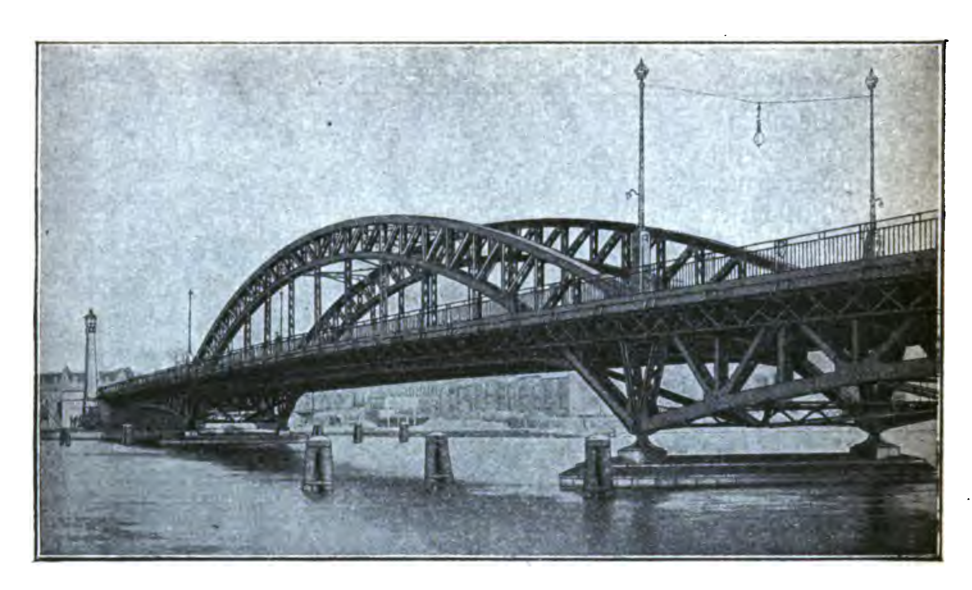




Abb. 69. Oben: Spreebrücke bei Oberschöneweide von Karl Bernhard.
Unten: Rheinbrücke in Bonn-Beuel.



Abb. 70. Steinerne Eisenbahnbrücke der Albulabahn.

sollen, daß man sie mit turmartigen Zugängen versah. Diese Anordnung befriedigt den Beschauer keineswegs vollkommen, der vergeblich nach dem Zweck der Türme fragt. Daß auch ohne dieses gekünstelte Bühnenscheinwerk eine Brücke lediglich durch die in ihr liegende Freiheit der Erscheinung schön wirken kann, lehrt Abb. 69, die einem Aufsatz desselben Verfassers entnommen ist und eine Brücke ohne, einer solchen mit Türmen gegenüberstellt.



Abb. 71. Die Urftalsperre.

Daß selbst eine großartige Landschaft durch Ingenieurbauten noch eine Steigerung ihrer Schönheit erfahren kann, sieht man an der hoch über den Fluß führenden steinernen Eisenbahnbrücke der Albulabahn (Abb. 70). Abb. 71 zeigt endlich die Urftalsperre, die in kühnem Schwung den neugeschaffenen See abschließt und ein neues Schönheitsbild der Landschaft erzeugt hat. Eine Fülle ausgezeichnet lehrreicher Beispiele ähnlicher Art enthalten die „Kulturarbeiten" von Paul Schultze-Naumburg.

Es erheben sich Stimmen zur Ergänzung des Unterrichts an Technischen Hochschulen nach der künstlerischen Seite hin. Der Ingenieur soll angewiesen werden, nicht nur zweckmäßig, sondern auch schön zu schaffen. Der Baumeister auf der anderen Seite soll darauf aufmerksam gemacht werden, daß neben den alt hergekommenen Aufgaben des Baues von Kirchen, öffentlichen Bauten und Wohnhäusern auch auf dem Gebiete des Werkbauwesens neue Lorbeeren zu pflücken sind. Der Deutsche Werkbund hat sich zum Ziel gesetzt, Industrie und Handwerk zu künstlerisch wertvoller und schöner Arbeit zu erziehen.

Herannahen eines neuen Zeitalters der Technik. Kein Zweifel, etwas Neues ist im Werke, besonders bei uns in Deutschland - wenigstens war das so vor dem Kriege. Die Technik ist erwacht und ihrer selbst bewußt geworden, sie stellt sich höhere Aufgaben, sie will nicht mehr bloß der Nützlichkeit dienen, sondern auch der Schönheit, sie will der Kultur dienen in dem edelsten Sinne ihrer Bedeutung.

Ein Zeichen für die zunehmende Selbstbewußtheit der Technik ist auch die Zunahme des geschichtlichen Sinnes. Bei der stürmischen Entwicklung im 19. Jahrhundert war zur Selbstbesinnung kaum



Abb. 72. Das Deutsche Museum in München.

Zeit gewesen. Es ist wie im Leben des einzelnen Menschen, der eine schwere, aber tatenreiche Vergangenheit hinter sich hat. Nicht ohne Sehnsucht mag er auf die Jugend zurückblicken. So wird auch die gereifte Technik nicht ohne lebendigste Teilnahme ihrer Jugend gedenken, und jedes einzelne Zeugnis ihrer Entwicklung wird ihr von Wert sein aus der Zeit, wo die Grundlagen der Naturwissenschaften und Technik gelegt wurden.

Aus solchen Gesichtspunkten heraus wurde in München unter der Führung von Oskar v. Miller ein Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik geschaffen, in dem sich das auch in Deutschland lebendig gewordene Bewußtsein solcher Kulturtätigkeit verkörpert, und das sich würdig neben ältere Schwesteranstalten gestellt hat. Abb. 72 zeigt den Entwurf des erst teilweise vollendeten Baues in der Schönheit, die Gabriel v. Seidl seinem Werke zu geben verstanden hat. Die alte Regel der Symmetrie ist verschwunden und an ihre Stelle die sprechende Schönheit getreten, die frei nach eigenem Gesetze dem Zwecke des Innern die Formen des Äußeren anzupassen weiß.

V. Schluß.

Naturforschung und technische Arbeit als selbständige Kulturleistungen. Die Sittenhöhe als Voraussetzung für ihre volle Wirksamkeit.

Sind Naturwissenschaft und Technik selbst ein Stück Kultur? Trotz all seiner erfolgreichen Entwicklung bleibt, wenn wir jetzt auf das gesamte Gebiet der Erweiterung unserer natürlichen Fähigkeiten, das wir unter dem Namen der Naturwissenschaft und Technik, die ärztliche Kunst einbegriffen, zusammenfassen, eine Frage offen, deren Beantwortung zwar dem Naturforscher und Techniker selbstverständlich erscheint, nicht aber der Allgemeinheit, die Frage nämlich, inwiefern diese Gebiete menschlicher Tätigkeit nicht bloß unser heutiges Kulturleben bedingen, sondern auch selbst ein Stück Kultur sind. Daß die Technik einen ganz neuen Zustand geschaffen hat, daß sie, auf ihren Schöpfer zurückwirkend, selbst zur Umwelt geworden und daher notwendigerweise das ganze Leben und damit das Kulturleben in außerordentlicher Weise beeinflußt, daß ihre Höhe den Ausfall von Kriegen wesentlich beeinflußt, das steht außer Frage. Wie weit sie selbst Kultur ist, darüber sind die Anschauungen noch wenig geklärt.

Denn die Forscher der Geschichte und Kultur älterer Herkunft stehen ihr meist ziemlich gleichgültig, wenn nicht ablehnend gegenüber. Bezeichnend dafür ist eine der letzten Schriften von Lamprecht, dieses hervorragenden Kulturgeschichtsforschers neuerer Zeit. Die 1914 geschriebene Schrift ist betitelt: „Deutscher Aufstieg." Sie bezieht sich im wesentlichen auf die Entfaltung deutschen Geisteslebens seit den Zeiten unserer großen Klassiker. Für ihre Zusendung dankend, sagte ich ihm damals, bei aller Schätzung fände ich den Titel ungeeignet, der nicht „Deutscher Aufstieg", sondern „Deutscher Abstieg" lauten müßte. Waren wir doch in jenen Dingen sicher, wennschon wir den Vergleich mit anderen Völkern auch in der Gegenwart nicht zu scheuen brauchen, von der früheren Höhe eher gesunken als darüber hinausgewachsen. Und doch hat Lamprecht einen ganzen Band seiner Deutschen Geschichte dem Ein-

fluß von Naturwissenschaft, Technik und dem damit zusammenhängenden Wirtschaftsleben gewidmet. Er hat darin diese Kräfte in einer Weise gewürdigt, ja ihnen begeistert gehuldigt, so daß selbst der leidenschaftlichste Techniker sich damit zufrieden geben kann. Wenn gleichwohl Lamprecht in der erwähnten Schrift Naturwissenschaft und Technik zwar als wesentlich anerkennt, aber doch nur nebenher behandelt, so zeigt das, wie wenig der Gedanke an ihren gegenwärtig überragenden Einfluß dem Geschichtsforscher in Fleisch und Blut übergegangen ist.

Bedenkt man noch, wie die auch bei uns zum Teil Eingang findende amerikanische Art, die Technik zu betreiben, uns vielfach als ein Zerrbild aller Kultur erscheint, ihre Herren einem nervenzerrüttenden Hasten oder öder Prunksucht verfallen, ihre Diener, wie viele glauben, als Sklaven verurteilt zu geistestötenden Verrichtungen, so ist das Bild fertig, das Naturwissenschaft und Technik aller wahren Kultur feindselig erscheinen läßt.

Es fragt sich, was ist wahr daran, was sollen wir davon denken? Zunächst muß man wohl unterscheiden die Benutzung der Früchte der Technik von der Schöpfung ihrer neuen Gebilde. Auch ein afrikanischer Urwaldneger könnte sich des Telephons bedienen, er ist aber nicht imstande, ein solches Werkzeug zu erfinden. Es leuchtet ein: die Schöpfungen als solche sind Taten ersten Ranges menschlicher Geisteskraft. Sie erfordern Phantasie, Verknüpfungsvermögen und eine Schärfe des Verstandes, die man häufig bei sonst gepriesenen Schöpfungen der Dichtung und der Geisteswissenschaften, etwa der Philosophie, nicht findet. Es ist leichter, manche neue philosophische Lehre aufzustellen, als eine einzige Erfindung durchzuführen, die dem unerbittlichen Prüfstein natürlichen Geschehens standhält.

Und die Gesinnung, aus der heraus Naturforscher und Ingenieure arbeiten? Nur wer mitten darin gestanden hat, sei es etwa auf einer Naturforscherversammlung oder einer Ingenieurversammlung, der weiß, mit welchem Gefühl der Begeisterung und eines hohen Idealismus dort die Gedanken zusammenströmen; mit welchen Gefühlen neue Entdeckungen der Technik oder neue Schöpfungen aufgenommen werden, in allen Teilnehmern wachrufend den Antrieb zu weiterem Ausbau des Vernommenen und zu Schöpfungen weiterer Art. Nicht der Gewinn, der von den Beteiligten etwa herausgeschlagen werden könnte, sondern

der Gedanke, an neuen Kulturschöpfungen mitzuwirken, ist die leitende Empfindung. Emil Rathenau, der berühmte Begründer der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft (AEG), der Mann des ungestillten Tatendurstes, in dem viele aber nur den Finanzmann sahen, blieb fast ein Jahrzehnt seines Lebens nach dem Zeugnis Riedlers, seines vortrefflichen Lebensschilderers, in niedergedrückter Stimmung untätig, weil die Zeit ihm noch nicht reif schien, Technik zu treiben in der Weise, die er für die einzig richtige hielt.

„Ein hervorragender Oberbeamter (einer Industriegesellschaft), vor die Wahl gestellt, seine Einnahmen zu verdoppeln oder in die Leitung einzutreten, wird die Verantwortung (und somit die schöpferische Tätigkeit) an Stelle des Reichtums wählen." So Walther Rathenau, der Sohn und Nachfolger von Emil Rathenau.

Und was sagt Goethe, dieser Gipfelmensch deutscher Kultur, über die Technik? Sein Faust, nachdem er die ganze Kulturwelt des Mittelalters und Altertums durchkostet hat, nach einem Leben von stets erneutem und nimmer gesättigtem Streben, endigt als Wasserbauer, der im Begriff steht, durch Dämme dem Meer neues Land abzugewinnen:

> Solch ein Gewimmel möcht' ich sehn,
> Auf freiem Grund mit freiem Volke stehn.
> Zum Augenblicke dürft' ich sagen:
> Verweile doch, du bist so schön!
> Es kann die Spur von meinen Erdentagen
> Nicht in Äonen untergehn. —
> Im Vorgefühl von solchem hohen Glück
> Genieß' ich jetzt den höchsten Augenblick.

In ähnlicher Weise endigt Goethes zweite Dichtung von weltumspannendem Umfang, sein Wilhelm Meister. Meister kommt nicht von der Seite der Wissenschaft, sondern von der Seite der Kunst her; als Schauspieler und Dramaturg hat er begonnen; auch ihn treibt es zu immer neuem Erleben, in dem seine Persönlichkeit heranreift. Und womit schließt die Dichtung ab? Der Freundeskreis von Wilhelm Meister hat die Losung ausgegeben, daß jeder eine nützliche Tätigkeit erlernen und sich darin betätigen soll. Wilhelm Meister selbst wird Arzt und rettet dem durch Ersticken infolge Ertrinkens bedrohten Sohn das Leben durch ärztliche Kunst. Das reine Schwelgen in der Kultur der Schön-

heit oder das reine Ästhetentum läßt Goethe unbefriedigt. Der Wertmesser menschlichen Daseins ist ihm die Tat.

„Es sind wenige," sagt Goethe im Wilhelm Meister, „die den Sinn haben und zugleich zur Tat fähig sind. Der Sinn erweitert, aber lähmt, die Tat belebt, aber beschränkt": Der Höhepunkt liegt für Goethe in der Vereinigung von Sinn und Tat.

Die Vergeistigung der Arbeit durch die Technik. Doch wie steht es nun mit den Vorwürfen, die man der Technik gemacht hat, daß sie den Arbeiter knechtet und verödet? Tritt man der Entwicklung näher, so findet man das Gegenteil bezeugt. Solange die Menschheit nicht verstand, das fremde Arbeitsvermögen der Natur sich nutzbar zu machen, also Wind, Wassergefälle, Kohle, so lange war der Mensch gezwungen, anstrengende Arbeit geisttötendster Art selbst zu verrichten. Die Alten benutzten dafür ihre Sklaven, die den Göpel antrieben, das Tretrad traten, die Galeeren bedienten. Von dieser rohesten Form der Arbeit hat die Technik die Menschen befreit. In den heutigen Kulturländern gibt es keine Sklaven mehr, die dazu verurteilt wären.

Aber es sei zugegeben, daß es auch heute noch eine Zahl von geistlosen oder aufreibenden Arbeiten gibt, so das Zureichen von Blättern zur Druckmaschine oder das Blasen von Flaschen. Aber wir haben schon gesehen, daß man wenigstens in diesem letzteren Fall bereits Maschinen ersonnen hat, die dem Arbeiter durch Preßluft diese Verrichtung abnehmen, und es ist die einmütige Ansicht aller Techniker, die über diese Frage geschrieben haben - und es gibt zurzeit ein ganzes Schrifttum, das sich mit diesen allgemeinsten Fragen der Technik oder, wenn man will, mit der Philosophie der Technik beschäftigt -, es ist also die einmütige Ansicht aller dieser Männer, daß es eine hervorragende Aufgabe der Technik sei, auch diese letzten geistlosen Arbeiten dem Menschen nach Möglichkeit abzunehmen. Das Ziel ist freilich leichter aufgestellt als erreicht. Es liegen hier mitunter die schwierigsten Aufgaben der Technik vor. Denkt man aber z. B. an unsere heutigen riesigen Druckmaschinen, bei denen endloses Papier auf Walzen von der einen Seite in das Getriebe hineinläuft, während auf der anderen Seite die fertig gedruckten, gefalzten und zusammengelegten Zeitungen herauskommen, so erkennt man, in wie weitgehendem Maße das Ziel mitunter schon erreicht ist.

Dem Arbeiter verbleibt die Aufsicht über die Maschine, und von solchem Arbeiter werden in der Tat hohe geistige Fähigkeiten verlangt. Er muß die Maschine durchaus kennen und jeden Fehler leicht zu ermitteln verstehen. Die Maschine ist ihm ein liebes Kind, das er mit Sorgfalt betreut. Der Maschinist in großen, geräumigen Hallen von äußerster Sauberkeit ist solch Arbeiter gehobener Art, der dem alten Handwerker nicht bloß gleichwertig, sondern überlegen ist.

Durch jede technische Verbesserung wird die Zahl der Handarbeiter vermindert gegenüber der Zahl der gelernten Arbeiter und Beamten. Eine ganze Reihe von Belegen für diese Behauptung hat Kammerer in einem Aufsatz über Entwicklungslinien der Technik gebracht. Beispielsweise wurde in einem Hüttenbetriebe dieselbe Arbeit, die vorher 130 Handlanger bei der Verladung von Trägern ausgeführt hatten, nach Einführung von Kranen durch 38 Handlanger und drei gelernte Arbeiter verrichtet. Dabei wurden nicht bloß die gelernten Arbeiter wesentlich höher entlohnt als die ungelernten, sondern auch deren Verdienst konnte erhöht werden, und die Verladekosten gingen auf etwa den 2,5ten Teil zurück.

In Hannover wurde früher die Reinigung der Straßenbahnschienen durch drei Handlanger besorgt; nach Einführung einer durch besonderen Straßenbahnwagen betätigten maschinellen Reinigung war nur noch ein Steuermann für dieselbe Arbeit erforderlich, der natürlich besser entlohnt wurde als die Handlanger. Die Reinigungskosten gingen auf etwa den vierten Teil zurück.

Ein Maßstab für den Grad der Befreiung eines Betriebs von gewöhnlicher Handarbeit oder kurz für die Vergeistigung des Betriebs bildet das Verhältnis der Zahl der höheren Arbeiter, Werkmeister, Beamten, als „Beamte" zusammengefaßt, zu der Zahl der Handarbeiter. Nach Oechelhäuser kommen beispielsweise in Maschinenfabriken auf einen Beamten zwölf bis vier Handarbeiter, in chemischen Fabriken sieben bis sechs.

Der Aufgabe der zunehmenden Vergeistigung der Betriebe mit dem Leitspruch „hohe Löhne bei niedrigen Herstellungskosten" hat der amerikanische Ingenieur Taylor seine Lebensarbeit gewidmet, die in dem Werke „Betriebsleitung" zusammengefaßt ist. Die zweckmäßigste Art des Arbeitsvorgangs wird von besonderen Beamten festgestellt und

das Ergebnis ihrer Untersuchung den Arbeitern in Form von Arbeits- und Unterweisungskarten mitgeteilt. Durch dieses Verfahren wurde die Zahl der Arbeiter, die in denselben Maschinenfabriken vorher sieben bis zwölf auf einen Beamten betrug, bis zum Verhältnis 3:1 herabgesetzt.

Natürlich bleiben dann stets Arbeiten einfachster Art übrig mit einem Mindestmaß von geistiger Betätigung. Indes kann jeder Arbeiter, der dazu fähig ist, sich bei der verhältnismäßig großen Beamtenzahl zum vorgeschrittenen Arbeiter oder Beamten hinaufarbeiten. Aber viele Denkarbeit ist gar nicht jedermanns Sache, und so entsteht ein Gebilde von Arbeitsgemeinschaft, das jedem die Arbeit zuweist, deren er fähig ist und die ihn befriedigt.

Arbeitsverkürzung durch die Technik. Die Maschine bringt aber nicht bloß eine Erleichterung und Vergeistigung der Arbeit, sondern auch eine Verkürzung der Arbeitszeit. Nach Michel Chevalier soll schon im Jahre 1855 in der Mehlbereitung von einem Arbeiter dasselbe geleistet worden sein wie von 144 zu Homers Zeiten; in der Baumwollenverarbeitung ist in der Zeit von 1769 bis 1855 die Geschwindigkeit der Fertigstellung auf das 700fache angestiegen. So ergibt sich also auch die Möglichkeit einer Verkürzung der Arbeitszeit, so daß freie Zeit verbleibt, die dem Arbeiter zu geistiger Erbauung Muße läßt. Volksbüchereien, Vorträge und Kunstdarbietungen werden von allen leitenden technischen Stellen gefördert, die sich ihrer Verantwortung bewußt sind. Ich erinnere nur an die vorbildlichen Einrichtungen, die von Abbe in Jena und von Krupp in Essen geschaffen worden sind.

Die gerechte Nutzverteilung in der Technik als Voraussetzung für ihre volle Kulturwirkung. Und doch bleibt noch eine große Menge des Wünschenswerten, das erst die Zukunft erfüllen kann. Es handelt sich dabei aber weniger um eine Aufgabe der Technik als solcher, als vielmehr um eine Aufgabe staatlicher Betätigung sittlicher und rechtlicher Natur.

Es ist begreiflich, daß in einer Übergangszeit wie der unsrigen, bei solch grundstürzenden Umwälzungen, die die Technik zur Folge hatte, nicht alles gleich vollkommen sein kann. Es ist bekannt, wie besonders in England, das ja in der Technik voranging, eine rücksichtslose Überanspruchung der Arbeiter obgewaltet hat, die in manchen Städten ein förmlich herabgekommenes und entartetes Arbeitergeschlecht hervorge-

bracht hat. Viel rascher als in England hat man in Deutschland in einem entsprechenden Zustand der Entwicklung die Gefahr erkannt; und Bismarck hat mit weitgreifendem Blick eingegriffen. In einer seiner Reichstagsreden bemerkte er, „der Rock würde ihm auf dem Leibe brennen, wenn er wüßte, daß sein Schneider hungern müßte“. Aus solcher Gesinnung heraus schuf er die ganze soziale Gesetzgebung, an der Deutschland immerfort weiterarbeitet. Und der Krieg hat uns gelehrt, von welcher Tragweite die Fragen sind, um die es sich hier handelt. Wird doch derjenige sein Vaterland aus freiem Antrieb am leichtesten mit seinem Leben zu verteidigen bereit sein, dem es durch seine väterliche Gesinnung und seine ganze Kultur ans Herz gewachsen ist.

Man hat geglaubt, das Kapital für alle Schäden des sozialen Lebens verantwortlich machen zu müssen. Aber das Kapital ist nichts weiter als ein Hochbehälter für eine Art Energie, die befruchtend einzugreifen bereit ist, wo es gilt, neue Schöpfungen der Industrie ins Leben zu rufen. Nicht das Kapital an sich, sondern die Art seiner Verwendung ist der Gegenstand, dem eine Untersuchung über seine sittlich-soziale Berechtigung zu gelten hat.

Wir werden auf die richtige Spur geführt, wenn wir uns der großen Heimatseinrichtungen erinnern, die der Krieg ins Leben gerufen hat. Diese gehen von dem Gedanken aus, daß erst die einfachsten Lebensbedingungen allen gewährleistet sein müssen, bevor an die Befriedigung weiterer, weniger wichtiger Bedürfnisse gedacht werden darf. Und doch glauben wir, daß im Frieden derlei vollständig in Ordnung sei. Es besteht die Ansicht, daß es für die bemittelteren Stände gewissermaßen Pflicht sei, Luxus zu treiben, um Geld unter die Leute zu bringen. Demgegenüber hat Walther Rathenau, der Schöpfer unserer Kriegsrohstoffverbände, darauf aufmerksam gemacht, daß im Frieden nicht weniger als ein Drittel der Weltindustrie auf solche Luxusarbeiten entfällt. Denkt man sich diese eingeschränkt und statt dessen eine erhöhte Arbeit verwendet auf die Befriedigung der einfachsten Lebensbedürfnisse, so erkennt man, daß es erreichbar sein muß, auch dem Ärmsten unter uns ein menschenwürdiges Dasein zu schaffen. Wie sollte das auch nicht möglich sein? Ist doch nach den früher gemachten Angaben der natürliche Energievorrat, den wir ausnutzen, dem menschlichen Arbeitsvorrat 60mal überlegen, und wird doch zudem die Handarbeit

durch die Leistungsfähigkeit der Maschinen vermöge deren abkürzender Wirkung um ein Vielfaches überboten. Als Maßstab für die zunehmend erleichternde Wirkung der technischen Verfahren mag mitgeteilt werden, daß nach Schmoller die Warenbeförderung innerhalb 150 Jahren auf das 40 bis 200fache verbilligt worden ist, wenn auch eine so hohe Verbilligung nicht überall stattgefunden hat.

Es ergibt sich also die Aufgabe, für eine gerechte Verteilung des Nutzens der Technik zu sorgen. Freilich ist das eine Aufgabe, schwieriger zu lösen als andere Kulturaufgaben, bei der ein einzelner oder nur wenige mitzuwirken brauchen. Ein großes Kunstwerk oder eine große Dichtung kann ein einzelner vollbringen, unabhängig von anderen. Eine Schöpfung der Naturwissenschaft und Technik kann in Gedanken zwar der einzelne vorbereiten, ihre Ausführung erfordert immerhin die Mitwirkung von Hilfskräften. Bei der bezeichneten Kulturaufgabe des Staates aber haben in gewisser Weise alle mitzuwirken, und die Kräfte des Gewohnten stehen hemmend entgegen.*)

Wendts Satz der staatlich befreienden Wirkung der Technik. Wir haben nun gesehen, daß die Technik in letzter Hinsicht vergeistigend wirkt. Überzeugend weist da Ulrich Wendt in seinem Werke „Die Technik als Kulturmacht“ an Hand eingehender geschichtlichen Untersuchungen nach, daß das gehobene geistige Vermögen des Volkes auch zu erhöhtem Selbstbewußtsein und staatlicher Reife und somit auch zu erhöhter persönlicher und bürgerlicher Freiheit führt. Das freiere Volk hat aber auch die größere Aussicht auf Erfolg bei der Lösung der sittlich-sozialen Aufgabe der gerechteren Verteilung der durch die Technik ermöglichten Vorteile. Und erst dann werden wir die volle Kulturwirkung der Technik zu erwarten haben. Denn indem sie in immer höherem Maße den Menschen von niederer Arbeit entlastet, setzt sie Kräfte frei für höhere geistige Leistungen. Wissenschaften und Künste, die edelsten Blüten des Kulturlebens, werden dann günstigsten Boden bereitet finden.

*) Es erscheint nicht überflüssig, daran zu erinnern, daß dies alles während des Krieges gesprochen und geschrieben wurde. Daß der Verfasser die Art, wie nicht „alle“, sondern eine Minderheit in Deutschland das „Gewohnte“ beiseite schoben, für keine Dauerlösung der Aufgabe hält, die einen langen Zeitraum geduldiger Arbeit erfordert, wird man aus dem neuhinzugefügten Schlußabschnitt ersehen. Nicht gewaltsamer Umsturz mit künstlichem Zurechtstutzen der Staatseinrichtungen, sondern eine stetige Entwicklung in natürlichem Wachstum schwebte dem Verfasser vor.

Dürfen wir da erwarten, daß insbesondere uns, dem deutschen Volke, nach Wiederkehr des Friedens eine neue Blüte der Dichtkunst beschert werde, eine Wiederkehr der Zeiten Schillers und Goethes? Wer würde sich nicht freuen, wenn das der Fall wäre! Aber selbst wenn die dichterische Schöpferkraft schon unter uns lebte, sie würde sich erst auswirken können durch die mitschwingende Empfindung der großen Gemeinde. Unser Volk als Ganzes hat jetzt indes an wichtigere Aufgaben zu denken. Und solchen pflegt sich die begeisterungsfähige Jugend zuzuwenden, hier also der großen Aufgabe der Ertüchtigung des Staates durch Steigerung seiner Kräfte, der Kräfte, die ihre Quelle haben in Naturwissenschaft und Technik, in blühender Wirtschaft und vor allem in einer gerechten sozialen Ordnung. Erst nach deren Lösung dürfen wir mit größerem Rechte das Erstehen einer allseitig wohlgebildeten Kultur mit ihren höchsten Blüten erwarten.

Zusammenfassung. Blicken wir zusammenfassend zurück, so erscheint uns die Beziehung von Naturwissenschaft und Technik zur Kultur in doppeltem Lichte. Sie sind selbst ein Stück Kultur, insofern ihre Diener Neues schöpfen, sie sind Grundlagen der Kultur, insofern ihre Schöpfungen die Lebensbedingungen des Menschen umgestalten.

Diese Umgestaltung zielt auf eine erhöhte Freiheit seiner Betätigung hin; sie macht ihn frei von den Schranken der natürlichen Sinne, sie befreit ihn von den Schranken des hilfsmittellosen einfachen Verstandes, indem sie seinen geistigen Gesichtskreis erweitert bis in die tiefsten Zusammenhänge der Natur, sie macht ihn endlich frei von der Beschränkung seiner natürlichen Gliedmaßen, indem sie ihm die Herrschaft gibt über alle Energieschätze der Erde und ihm als erweiterte Gliedmaßen die Maschinen in die Hand gibt, die seine Arbeits- und Gestaltungsfähigkeit in immer mehr steigendem Verhältnis erhöhen.

Die zunehmende Freiheit der Betätigung nimmt ihm zugleich in wachsendem Maße den Zwang ab zu niederer Arbeit und führt ihn zu steigender Vergeistigung der Arbeit. Sie erweckt die Geister und führt zu persönlicher und staatlicher Freiheit. Diese leitet endlich zu gesellig-sittlicher Höhe und sittlicher Freiheit, der wertvollsten Seite des ganzen Kulturlebens. In seiner reinen Gesundheit kann die Menschheit auch ihrer schönsten Blüten erst von Herzen froh werden.

Die veredelnde Entwicklung als Ziel der Menschheit. Und doch wird man noch die Frage hören: Macht die höhere Kultur glücklicher? Darauf ist die Gegenfrage zu stellen: Ist das äußere Glück und Behagen das Höchste, was angestrebt werden soll? Der Krieg hat uns belehrt, und unsere Krieger haben den Daheimgebliebenen vorbildlich durch die Tat gezeigt, daß es ein Höheres gibt, nämlich Pflichterfüllung und Aufopferung für das Ganze. Dabei erinnern wir uns daran, daß Schiller die Kantsche Pflichtauffassung aus dem Düstern in das Helle gerückt hat. Wir brauchen bloß an uns selbst so viel zu arbeiten, daß die Pflicht uns Freude wird, so tun wir, was wir tun sollen, nicht weil wir's müssen, sondern weil wir's wollen. Der Kampf ums Dasein zwingt Menschen und Völker, sich ohne Rast nach dem Höheren zu entwickeln. Stellen wir uns als höchstes Ziel diese Höherentwicklung, so tun wir freiwillig, was wir doch tun müssen. Nicht das Glück eines bequemen Genußlebens, sondern das Glück der Veredlung muß unser Ziel sein. In diesem Lichte gewinnt die Lehre des viel bewunderten und viel getadelten Dichterphilosophen Nietzsche einen rechten Sinn. Wir brauchen bloß seinen „Herren- und Übermenschen" mit „Führer" zu übersetzen, sein „Mitleid" mit „Schonung" - und welcher Verkünder ist nicht geneigt, die Worte zu übertreiben, um besser gehört zu werden -; wenn wir also so übersetzen, so können wir ihm zustimmend sagen: Das Ziel des Menschen soll seine Höherentwicklung sein; es zu erreichen, dürfen weder wir uns selbst schonen noch der Führer die Geführten. Das schöne Haus der Zukunft zu bauen, den technisch, geistig, künstlerisch und sittlich hochstehenden Menschen der Zukunft heraufführen zu helfen, sind wir alle berufen, jeder an seiner Stelle.

Im Tale der Kulturwellen. Diese Vorträge galten unseren Kriegern und wurden getragen von dem Glauben an Deutschlands Zukunft, wenn nicht seines vollen Sieges, so doch seines festen Bestehens. Was schien eine sicherere Gewähr des Kulturfortschritts der Menschheit als ein starkes Deutschland: als eine Stätte besonders hoher Bewertung der geistigen Güter, als ein Kristallisationsmittelpunkt der Ordnung und Kultur nach dem Osten und als ein Träger des Fortschritts in der ganzen Welt in schiedlichem Einvernehmen und friedlichem Wettbewerb mit dem Westen.

Nun ist der Krieg entschieden und damit der Plan zu dem größten

Verbrechen der Weltgeschichte zur Durchführung gelangt: Eine Reihe von Völkern, deren keines dem deutschen an Gesittung, Gerechtigkeitssinn, Freiheit der Lebensführung und der Gedanken, Arbeits- und Schöpferdrang, kurz fast an allen Seiten der Kultur gleichkam, deren keines allein es mit ihm aufzunehmen gewagt hätte, haben sich zusammengetan, um es niederzuschlagen, zu entwaffnen, zu erniedrigen und auszuplündern. Ja sie schämen sich jetzt nicht einmal, ihm geistiges Eigentum, wie Erfindungen zu stehlen.

Jenem Verbrechen kommt nur nahe das eines Teiles der eigenen Volksgenossen, die im Augenblick der größten äußeren Gefahr dem tapferen Heer die Waffen zerbrachen, um ihren kurzsichtigen Gedanken zum Siege zu verhelfen. Und dabei offenbarte sich die einzige Seite von Kultur, worin das deutsche Volk anderen unterlegen ist, von der bisher in diesen Vorträgen nicht die Rede war, das ist völkisches Selbstbewußtsein und Stolz und staatsmännische Gesinnung, ein Mangel, der sich freilich auch schon vor dem Kriege geltend gemacht und die Anschläge unserer Neider begünstigt hatte.

Denn Kultur im höchsten Sinne hat völkisches Gepräge. Zwar gibt es gewiß viele ihrer Güter, die allen Kulturvölkern gemeinsam sind, und gerade die aus Physik und Technik entsprungenen, die hier in erster Linie besprochen wurden, gehören vielleicht besonders dazu, wenn auch sie ihre völkischen Farben tragen. Aber man mache den Versuch und sperre die Angehörigen von einem Dutzend Völkern in eine enge Stadt, und es wird eine unerfreuliche Mischung geben, kein rundes naturwüchsiges Gebilde.

Die Entwicklung der Menschheit geht über die der einzelnen Völker und bedarf, bevor sie in eine einheitliche Entwicklung mündet, zum mindesten einer nach Jahrtausenden zu bemessenden Zeitspanne. Daß man wahren Völkerbund und ewigen Frieden schon jetzt nur zu beschließen brauche, um sie zu haben, ist der eine der großen Wahngedanken, dem unsere Umstürzler zum Opfer fielen. Weil die Ahndung von Raub und Mord innerhalb eines Volkes dem Gemeinwesen übertragen werden konnte, glaubt man, daß Ähnliches ohne weiteres auch für ein Gemeinwesen von Völkern möglich sei, und vergißt dabei, daß die Voraussetzung dafür eine große Zahl in Macht und Kultur gleichwertiger Völker ist, eine Voraussetzung, die beim Staat durch die große Zahl

in gewissem Sinne gleichwertiger Bürger erfüllt ist, die ihm das Vertrauen gerechter Machtausübung entgegenbringen. Wo dies Vertrauen fehlt, wanken die Stützen des Staates. Wo aber, wie das im gegenwärtigen Entwicklungszustand der Menschheit der Fall ist, nur eine kleine Zahl in Macht und Kultur verschiedenartiger Weltmächte vorhanden ist, deren offenes oder klug verhülltes Bestreben die möglichste Erweiterung ihrer eigenen Machtfülle ist, da kann sich nur ein gänzlich verblendetes Volk seiner Macht entäußern, um der freundlichsten Behandlung durch die anderen sicher zu sein.

Der andere Wahngedanke ist der Glaube, daß die Menschen im Grunde von Natur gleich seien oder gleich gemacht werden könnten. In der Natur gibt es nichts Gleiches. Nicht einmal die Molekeln eines Gases sind untereinander gleich und gehorchen einem gewissen Verteilungsgesetz ihrer Geschwindigkeiten. Zwar kann der Besitz zwangsmäßig vorübergehend annähernd ausgeglichen werden. Aber mit Erhaltung des Kulturzustandes, geschweige mit Kulturfortschritt wäre ein solcher Zustand unvereinbar. Denn alles neue Kulturgut ist zunächst etwas Überflüssiges, das im Anfang nur wenigen zugute kommen kann. Erst allmählich breitet es sich aus, wird ungern entbehrt und schließlich Lebensnotwendigkeit. Man denke nur an ein so einfaches Kulturgut wie die Wohnung, die der Naturmensch nicht gehabt hat.

Damit die Verschiedenartigkeit der Lebenshaltung innerhalb eines Volkes von den minder günstig Gestellten willig ertragen werde, dazu gehört neben der Erfüllung der Forderung, daß auch der Ärmste ein menschenwürdiges Dasein führen kann, nicht zum mindesten die Überzeugung, daß jene Verschiedenartigkeit in einem blühenden Gemeinwesen Notwendigkeit sei, daß die Führer des Volkes, unbekümmert um die Not des täglichen Lebens, Bildungsmöglichkeiten und Freiheit des Blickes haben müssen, um ihren Aufgaben gewachsen zu sein. Damit ist nicht gesagt, daß nicht aus der Tiefe des Volkes gelegentlich auch führende Männer emporsteigen. Aber das pflegt eher eine Ausnahme als die Regel zu sein. Wohl dem Volke, das über eine wenn auch sich stets aus den Volkswurzeln verjüngende Höhenschicht verfügt, die ihm auf allen Gebieten unablässig Führer liefert, ein taten- und schöpferfreudiges, herrschgewohntes Geschlecht! Das setzt voraus, auf der einen Seite die Überlieferung der Verpflichtung zu hohen Leistungen und

zur Gewinnung höchster Bildung, nicht zum mindesten durch Umschau in der ganzen Welt, nicht zum Vergnügen, sondern zum forschenden Begreifen, auf der anderen Seite aber die Bereitwilligkeit zur Anerkennung von Leistungen und ein gewisser Mangel an Neid.

Ein Volk, das in schulmeisterlichem Eifer der Gleichmacherei huldigt und keine führende Schicht dulden will, wird sich bald davon überzeugen, daß es nur eine noch weniger willkommene Herrschaft sich eingetauscht hat: die Fremdherrschaft.

Unsere Umstürzler gleichen zudem den Fahrgästen eines infolge falscher Weichenstellung entgleisten Zuges, die sich anschicken, den Bau der Zugmaschine zu verbessern, von dessen Feinheit und Empfindlichkeit sie keine Ahnung haben.

Fast nimmt es den Anschein, als ob das deutsche Volk auch in dem Punkte eine gewisse Ähnlichkeit mit den alten Griechen habe, daß es seine großen Männer schlecht behandelt. Nur mit tiefster Trauer kann man der Tatsache gedenken, wie die deutschen Offiziere nach dem Kriege zum Gegenstand unberechtigter Angriffe und der Erschwerung ihres Daseins gemacht wurden. Man nimmt zum Vorwand gewisse Mißstände, die bisweilen auf den Zufuhrstraßen obgewaltet haben mögen, die aber bei allen Kriegen schwer zu vermeiden waren und über die sogar Friedrich der Große polterte, ohne sie abstellen zu können. Pflichtuntreue mag es zu allen Zeiten gegeben haben, am wenigsten sicher unter den deutschen Offizieren des großen Krieges. Die in der Weltgeschichte einzig dastehenden Leistungen und Heldentaten des deutschen Heeres wären ohne dies unmöglich gewesen. Es soll hier nicht wiederholt werden, was jeder in den vielen Kriegserinnerungen, insbesondere unserer beiden großen Heerführer lesen kann; es sollen nur ein paar Worte gesagt werden von dem, was der Verfasser selbst auf seinen Vortragsfahrten wahrgenommen hat: den Batterieführer, der nach monatelangem, fast ohne Schlaf erfolgtem Ausharren an vorderster Stelle nicht eher weicht, als bis er zusammenbricht, den Truppenführer, der endlich wieder das ersehnte Kommando an der Front erhält und nach schwierigstem verlustreichen Gefecht erklärt, es sei der schönste Tag seines Lebens gewesen, die Generalstabschefs, denen die verantwortungsvolle, anstrengende Tätigkeit ins Gesicht geschrieben steht und die bei jeder Gelegenheit, wo andere feiern dürfen, bereit sind, rasch

entschlossen in schwierigen Lagen einzugreifen, die kommandierenden Generale, die bei aller anderen Verantwortung um das Wohl der Untergebenen treu besorgt sind, die vielen, denen Pflichterfüllung Freude ist, das kameradschaftliche Zusammenleben am schlichten Offizierstisch, an dem sie ihre Kräfte zu schwerem Dienst erneuern. Auch das alles war ein Stück Kultur.

Es ist mit vielem anderen versunken. Wir befinden uns im Tale der Kulturwellen, aber nicht bloß wir, sondern auch unsere überklugen Feinde, denen jetzt der deutsche Ansporn fehlt. Aber selbst wenn wir noch tiefer sinken sollten, selbst wenn die Flut des Umsturzes aus dem Osten und neue Kämpfe über uns hinwegbrausen sollten, der dereinstige Aufstieg wird kommen, so sicher der Tag auf die Nacht folgt. Deutschland ist noch jung. Es hat schon manche Krankheiten überstanden, den Zwiespalt der Stämme und Fürsten, des Glaubens und der Staaten; es wird auch den Zwiespalt der Volksschichten überwinden. Zwar hat sich durch das Hinsinken von Millionen der Besten die Volkseigenheit nach dem Schlechteren hin verschoben. Aber das Volk erneuert sich, und die alten Kräfte treiben die alten Eigenheiten wieder hervor: Pflichtbewußtsein und Treue, Liebe zur Arbeit und zu schöpferischem Gestalten, und was uns fehlt, wird uns werden, wenn wir es als notwendig begreifen: völkisches Selbstbewußtsein, staatsmännische Gesinnung und Stolz auf deutsche Eigenart, der Sinn für deutsches Deutsch, deutsche Lebensführung und deutsche Farbe aller Kulturgüter. Der nie erloschene Trieb nach Unabhängigkeit und Freiheit wird die Notwendigkeit der staatlichen Macht erkennen lassen, und wie über die Zeiten der Zersplitterung und Ohnmacht hinweg der Barbarossatraum Erfüllung gefunden hat, so wird die Zeit kommen, wo die Heldentaten des deutschen Volkes und seiner Führer im großen Kriege in reinem Lichte erstrahlen werden und die Sehnsucht nach früherer Größe das deutsche Volk zu neuer Größe erstehen lassen wird zum eigenen Heile und dem der ganzen Menschheit.

Woraus der Verfasser dieses Vertrauen noch schöpft: Aus dem Geist der vom Felde heimgekehrten Hochschuljugend, die trotz allem schweren Überstandenen sich mit Feuereifer auf die Wissenschaft stürzt und die Siegeszuversicht, mit der sie draußen gekämpft, ins fernere Leben überträgt.

Quellen.

Zu I.

Seite

1. Was ist Kultur?: E. Mach, Kultur und Mechanik. Stuttgart 1915, W. Spemann. K. Weule, Natur und Kultur. Kosmos 1917. V. Franz, Die Zeiträume der Phylogenesis. Biologisches Zentralblatt 1917, Bd. 37 S. 143.
3. Reizschwelle der Sinne: Fechner, Elemente der Psychophysik. 1. Teil. 2. Aufl. Leipzig 1889, Breitkopf & Härtel.
4. Der Freiheitsgrad des Geistes: O. Wiener, Der Grad der Willensfreiheit, Deutsche Revue 1919, Bd. 1 S. 256.
4. Die künstliche Erweiterung der natürlichen Werkzeuge: E. Kapp, Grundlinien einer Philosophie der Technik. Braunschweig 1877, G. Westermann. A. Penck, Alter des Menschengeschlechts. Zeitschrift für Ethnologie 1908, Bd. 40. (Nach Heilborn, Der Mensch der Urzeit. Aus Natur und Geisteswelt Bd. 62. Leipzig u. Berlin 1910, B. G. Teubner.) H. Spencer, Die Prinzipien der Physiologie. Deutsche Ausgabe. 3. Aufl. S. 380. Stuttgart 1882, E. Schweizerbart.
5. Die Kulturhöhe abhängig vom Freiheitsumfang: E. Zschimmer, Philosophie der Technik. Jena 1914, E. Diederichs. Unter dem gleichen Titel: 7. Heft der „Technischen Abende im Zentralinstitut für Erziehung und Unterricht". Berlin 1917, E. S. Mittler & Sohn. U. Wendt, Die Technik als Kulturmacht. Berlin 1906, G. Reimer.

Zu II.

7. Die natürlichen Sinne: Th. Ziehen, Leitfaden der physiologischen Psychologie, 10. Aufl. Jena 1914, G. Fischer. Anatomie der Sinnesorgane von R. Hesse, S. 31 und Physiologie der Sinnesorgane von A. Pütter, S. 62 im Bd. 9 des Handwörterbuchs der Naturwissenschaften. Jena 1913, G. Fischer. Dort auch weiterer Schriftennachweis.
7. Die Erweiterung der Sinne: O. Wiener, Die Erweiterung unserer Sinne. Antrittsrede. Leipzig 1900, J. A. Barth. W. Kodweiß, Die Erweiterung unserer Sinne durch die Physik, Naturwissenschaftl. Wochenschrift, Jahrg. 1919 S. 713 u. 729. Jena, G. Fischer.
9. Die Empfindlichkeit der Wage: Leo Grunmach, Die physikalischen Erscheinungen und Kräfte. S. 35. Leipzig 1899, O. Spamer. M. Thiesen, Travaux et Mémoires du Bureau international des poids et mesures. Bd. 7. 1890. F. Richarz und O. Krigar-Menzel, Ann. d. Phys. u. Chem. 1894, Bd. 51 S. 581. F. Richarz, Naturwiss. Rundschau 1894, Bd. 9 S. 667.
10. Die Entdeckungsgeschichte des Argons: Rayleigh, Proceedings of the Roy. Soc. of London 1888, Bd. 43 S. 356; 1892, Bd. 50 S. 448; 1893, Bd. 53 S. 134; 1894, Bd. 55 S. 340. Rayleigh und Ramsay, ebenda 1895, Bd. 57 S. 265.

Seite

11\. Die Mikrowage: O. Wiener (wie oben), S. 9 und Anm. 11. E. Warburg und J. Ihmori, Ann. d. Phys. u. Chem. 1886, Bd. 27 S. 481. H. Pettersson, Dissertation. Stockholm 1914. Dort auch weitere Quellen. E. H. Riesenfeld und H. F. Möller, Zeitschr. für Elektrochemie 1915, Bd. 21 S. 131.

11\. Druckmessung und Drucklibelle: A. Töpler, Ann. d. Phys. u. Chem. 1895, Bd. 56 S. 609. M. Toepler, ebenda 1896, Bd. 57 S. 472.

12\. Gedankenlesen: R. Sommer, Zeitschr. für Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane, von H. Ebbinghaus u. A. König, 1898, Bd. 16 S. 275. Derselbe, Lehrbuch der psychopathologischen Untersuchungsmethoden. Berlin u. Wien 1899, Urban & Schwarzenberg.

13\. Erdbebenmessung: B. Galitzin, Vorlesungen über Seismometrie, deutsch herausgegeben von O. Hecker. Leipzig u. Berlin 1914, B. G. Teubner. Dort weitere Quellen. F. Etzold, Berichte der Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Leipzig 1902, Bd. 54 S. 283.

14\. Aufzeichnungen der Erdbebenmesser: F. Pockels, Geolog. Rundschau 1910, Bd. 1 S. 250.

16\. Die Energieschwelle: O. Wiener (wie oben), S. 17 u. Anm. 40. M. Wien, Dissertation. S. 46. Berlin 1888.

19\. Die Leistungen des astronomischen Fernrohres: Newcomb-Engelmann, Populäre Astronomie. 5. Aufl. S. 526. Leipzig 1914, W. Engelmann. L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie. Berlin 1910, A. Hirschfeld.

21\. Das Ultramikroskop: H. Siedentopf und R. Zsigmondy, Ann. d. Phys. 1903, Bd. 10 S. 1. E. Wagner, Über Röntgenspektroskopie. Physikal. Zeitschr. 1917, Bd. 18 S. 417.

23\. Die Sichtbarmachung der Atome durch Röntgenbeugungsbilder: Friedrich, Knipping und Laue, Ann. d. Phys. 1913, Bd. 41 S. 971. F. Rinne, Berichte der Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1915, Bd. 67 S. 303.

26\. Die Sichtbarmachung von Schallwellen: A. Töpler, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode. Bonn 1864, Max Cohen & Sohn. Auch Pogg. Ann. 1866, Bd. 127 u. 128; 1867, Bd. 131; 1868, Bd. 134. E. Mach, Populärwissenschaftliche Vorlesungen. 4. Aufl. Leipzig 1910, J. A. Barth. Auch Sitzungsber. der math.-naturw. Kl. d. K. Akad. d. Wiss. Wien 1888, Bd. 97; 1889, Bd. 98; 1892, Bd. 101. L. Mach, ebenda 1896, Bd. 105.

26\. Die künstliche Erweiterung des Zeitsinnes: L. Hermann, Lehrbuch der Physiologie. Berlin 1910, A. Hirschfeld. Nach neueren Versuchen besitzt der Mensch bei der Lokalisation von Schallreizen mit beiden Ohren eine Zeitunterschiedsschwelle bis herab zu ein hunderttausendtel Sekunde. O. Klemm, Archiv für die gesamte Psychologie 1920, Bd. 40 S. 117. Hornbostel u. Wertheimer, Sitz.-Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. 1920, S. 388.

27\. Die Dauer von Feddersens elektrischen Schwingungen: W. Feddersen, Abhandlungen, herausgegeben von Th. Des Coudres in Ostwalds Klassikern Nr. 166. Leipzig 1908, W. Engelmann.

28\. Die Zeitlupe: E. Mach, Eders Jahrbuch für Photographie 1888, auch in den populär-wissenschaftl. Vorlesungen abgedruckt. Leipzig, J. A. Barth. H. Lehmann,

Seite
Photographische Korrespondenz 1916. P. Lenard, Ann. d. Phys. u. Chem. 1887, Bd. 30 S. 209. Wolf-Czapek, Angewandte Photographie in Wissenschaft und Technik. Stuttgart, Berlin und Leipzig 1911, Union Deutsche Verlagsgesellschaft. Marey, La méthode graphique ... 2. Aufl. Paris 1884. W. Braune und O. Fischer, Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. 1895, Bd. 21; und spätere Veröffentl. von Fischer in denselben „Abhandlungen".

29. Der Zeitraffer, W. Zürn, Der Lehrfilm und seine Technik, Reclams Universum, Jahrgang 36.

30. Das Atom als kleines Planetensystem: N. Bohr, Philos. Magaz. 1913, Ser. 6 Bd. 26 S. 1, 476 u. 857. A. Sommerfeld, Ann. d. Phys. 1916, Bd. 51 S. 1 u. 125. Derselbe, Atombau u. Spektrallinien, Braunschweig 1920, Vieweg & Sohn.

30. Die ultravioletten Strahlen: L. Arons, Ann. d. Phys. u. Chem. 1896, Bd. 58 S. 73. V. Schumann, Sitzungsber. d. math.-naturw. Kl. d. K. Akad. d. Wiss. Wien 1893, Bd. 102 Abt. IIa S. 66. Th. Lyman, Astrophys. Journ. 1906, Bd. 23.

33. Die Erweiterung des Temperatursinns: Nichols, Astrophys. Journ. Jahrg. 1901, Bd. 13 S. 101. S. auch die folgende Anm. u. die erste Anm. zu S. 37.

33. Lange Wärmewellen und elektrische Wellen: H. Rubens, Abschnitt „Wärmestrahlung" im Physikband der „Kultur der Gegenwart". Leipzig u. Berlin 1915, B. G. Teubner. Auch Abhandlungen in den Ann. d. Phys., Berl. Berichten u. Verhandl. d. Physikal. Gesellsch. W. Möbius, Ann. d. Phys. 1920, Bd. 62 S. 293.

33. Weitere Ersatzmittel des Auges: E. Ruhmer, Das Selen 1902, F. u. M. Harrwitz. A. Korn, Die Entwicklung der Bildtelegraphie in Abderhaldens Fortschritte der naturwissenschaftl. Forschung 1910, Bd. 1 S. 177. Berlin u. Wien, Urban & Schwarzenberg. P. v. Schrott, Fernphotographie, Bd. 3, S. 1000 des Handbuchs d. Naturwiss. 1913. Jena, G. Fischer. A. Korn u. B. Glatzel, Handbuch der Phototelegraphie und Telautographie. Leipzig 1911, O. Nemnich. Chr. Ries, Das Selen. Dießen vor München 1918, Jos. C. Huber. J. Elster u. H. Geitel, Physik. Zeitschr., insbes. 1911, Bd. 12 S. 758. P. Guthnick u. R. Prager, Die Naturwissenschaften 1915, Jahrg. 3 S. 53.

35. Der künstliche magnetische Sinn: A. Kreidl, Wiener Sitzungsberichte 1893, Bd. 102, III S. 149; siehe auch E. Machs Vortrag „Über Orientierungsempfindungen" in dessen Populär-wissenschaftlichen Vorlesungen. 4. Aufl. S. 404. Leipzig 1910, J. A. Barth. W. Koehler, Elster- und Geitel-Festschrift. S. 225. Braunschweig 1915, F. Vieweg & Sohn.

36. Der künstliche elektrische Sinn: O. Wiener (wie oben), S. 18 u. Anm. 48.

37. Das Galvanometer: Du Bois und Rubens, Ann. d. Phys. u. Chem. 1893, Bd. 48 S. 236. Paschen, Physik. Zeitschr. 1913, Bd. 14 S. 520.

37. Das Elektrometer: G. Hoffmann, Physik. Zeitschr. 1912, Bd. 13 S. 1029; Ann. d. Phys. 1917, Bd. 52 S. 708. E. Mülly, Physik. Zeitschr. 1913, Bd. 14 S. 237. F. Ehrenhaft, Zur Physik des millionstel Zentimeters, Physik. Zeitschr. 1917, Bd. 18 S. 355; Ann. d. Phys. 1918, Bd. 56 S. 12. Dort genauerer Quellennachweis auch über Millikan. Die im Text angegebenen Zahlen setzen voraus, daß die von Ehrenhaft angegebenen Größen noch mit 10 v. H. Genauigkeit festgestellt werden können.

Seite
38. Elektrische Ströme im menschlichen Körper: Einthoven, Verhandlungen der Ges. deutscher Naturforsch. u. Ärzte 1911, Bd. 1 S. 99.
38. Elektrisches Gedankenlesen: G. Sticker, Wiener klinische Rundschau 1897, Nr. 30 u. 31.
39. Die Welt der radioaktiven Vorgänge: C. T. R. Wilson. Siehe Marx, Handbuch der Radiologie. Bd. 2 von Rutherford. Leipzig 1913, Akademische Verlagsgesellschaft.
40. Das Dasein der Atome: P. Jensen, Leben, S. 64 in Bd. 6 des Handbuchs der Naturwissenschaften. Jena 1912, G. Fischer.

Zu III.

44. Wer sich in verhältnismäßig müheloser Weise über die neuere Physik unterrichten will, sei verwiesen auf den Physikband der „Kultur der Gegenwart". Leipzig u. Berlin 1915, B. G. Teubner.
45. Die Entwicklungsgeschichte der physikalischen Bilder: H. Hertz, Die Prinzipien der Mechanik. S. 1. Leipzig 1894, J. A. Barth.

Zu IV.

53. Die Größe der herangezogenen fremden Energien und der Energiehaushalt der Erde: H. Boruttau, Die Arbeitsleistungen des Menschen. Aus Natur und Geisteswelt Bd. 539. Leipzig u. Berlin 1916, B. G. Teubner. Ulrich Wendt, Die Technik als Kulturmacht. Berlin 1906, G. Reimer. S. Arrhenius, Lehrbuch der kosmischen Physik. Bd. 1 S. 423. Leipzig 1903, S. Hirzel. Fritz Frech, Über Ergiebigkeit und voraussichtliche Erschöpfung der Steinkohlenlager. Stuttgart 1901, E. Schweizerbart. H. Scholl, Die irdischen Energieschätze und ihre Verwertung. Leipzig u. Berlin 1912, B. G. Teubner. M. Bodenstein, Die Energiequellen unserer Maschinen. Zeitschr. f. angewandte Chemie 1915, Bd. 28. E. Biedermann, Verkehrstechnische Woche und Eisenbahntechn. Zeitschr. 1915 u. 1916; referiert von E. Börnstein in d. Elektrotechn. Zeitschr. 1917. Max Geitel, Der Siegeslauf der Technik. Bd. 1. Stuttgart, Berlin u. Leipzig, Union Deutsche Verlagsgesellschaft. Prometheus 1918, Jahrg. 29, S. 189. Eine Turbodynamo von 75000 PS Leistung.
65. Ein geplantes Flutstaubecken: F. Hermann, Umschau 1911, Bd. 15 S. 268.
65. Die Ausnutzung der Sonnenstrahlung: „Solarkonstante" = 1,93 nach E. Warburg, Lehrbuch der Experimentalphysik. 17. u. 18. Aufl. S. 295. Tübingen 1920, Mohr. Fritz Köhler, Prometheus 1913/14 Bd. 25 S. 212.
66. Der Wirkungsgrad der Ausnutzung der Sonnenstrahlung durch Pflanzen: Strasburger, Jost, Schenk, Karsten, Lehrbuch der Botanik. 10. Aufl. S. 183. Jena 1910, G. Fischer.
67. Höhenstufe und Fassungsvermögen der fremden und umgewandelten Energien: Max Geite , Der Siegeslauf der Technik (wie oben).
69. Höhenstufe der Energie der Bewegung: Meyers Konversationslexikon; siehe „Leibesübungen".
70. Verkehrsgeschwindigkeiten: Ebenda bei „Leibesübungen". Die Technik im 20. Jahrhundert, herausgegeben von A. Miethe. Bd. 4 S. 71. Braunschweig 1912, G. Westermann.

Seite

72. Fluggeschwindigkeiten: Deutsche Luftfahrerzeitschrift 1920, S. 13. O. Wiener, Fliegerkraftlehre, S. 124. Leipzig 1920, S. Hirzel.
75. Drahtlose Telegraphie: „Telefunken“ von Friedrich Otto. Velhagen & Klasings Monatshefte 1913/14, Bd. 3 S. 533. Elektrotechn. Zeitschr. Jahrg. 39. 1918 S. 289. Ferner z. B. H. Mosler, Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung. Braunschweig 1920, Vieweg & Sohn. Dort auch weitere Quellen.
77. Hohe Temperaturen: O. Lummer, „Licht und Lampe“ Berlin 1915. Union Deutsche Verlagsgesellschaft.
79. Unterschied der technischen und natürlichen Arbeitsverfahren: E. Kapp, Grundlinien einer Philosophie der Technik. 1877. E. Zschimmer, Philosophie der Technik. 7. Heft der „Techn. Abende im Zentralinst. f. Erziehung und Unterricht“ S. 10ff. Berlin 1917, E. S. Mittler & Sohn.
87. Ingenieurbauten und ihre Schönheit: Max Geitel, Siegeslauf der Technik (wie oben). Julius Wolff, Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin 1892, A. Hirschwald. W. Franz, Werke der Technik im Landschaftsbild. 6. Heft der „Technischen Abende usw.“. Berlin 1917, E. S. Mittler & Sohn. Derselbe, Brückentore. Technik und Wirtschaft 1911, Bd. 4. Karl Bernhard, Deutsche Bauzeitung 1905 Nr. 26; Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1905, S. 1141; Eiserne Brücken, Verl. Deutsche Bauzeitg. 1911. Brückenbaukunst, Zeitschr. d. Verb. d. Arch. u. Ing.-Vereine 1914, S. 91. P. Schultze-Naumburg, Gestaltung der Landschaft durch den Menschen. Bd. 7, 8, 9 der „Kulturarbeiten“. München 1916 und 1917, Kunstwart-Verlag Georg D. W. Callwey. Peter Behrens, Über die Beziehungen der künstlerischen und technischen Probleme. 5. Heft der „Technischen Abende usw.“. Berlin 1917, E. S. Mittler & Sohn. Robert Otzen, Kulturwerke der Technik. Festrede. Berlin 1912, J. Springer. – Aufsätze und Berichte in „Technik und Wirtschaft“, Monatsschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Berlin, J. Springer.

Zu V.

96. Für den Schlußabschnitt im allgemeinen sei auf die folgenden Schriften hingewiesen: Max Kraft, Das System der technischen Arbeit. Leipzig 1902, Arthur Felix. Adolf Ernst, Kultur und Technik. Festrede. Berlin 1888, J. Springer. A. Riedler, Über die geschichtliche und zukünftige Bedeutung der Technik. Zwei Reden. Berlin 1900, G. Reimer. Hermann Föttinger, Technik und Weltanschauung. Berlin 1916, J. Springer. Th. Janßen, Die Grundlagen des technischen Denkens und der technischen Wissenschaft. Berlin 1917, J. Springer.
96. Die Stellung der Geschichtschreiber zur Frage: Karl Lamprecht, Deutscher Aufstieg 1750–1914. Gotha 1914, Perthes. Derselbe, Deutsche Geschichte. Ergänzungsband 2, 1. Berlin 1911, Weidmann.
96. Warum Technik selbst ein Stück Kultur ist: A. Riedler, Emil Rathenau und das Werden der Großwirtschaft. Berlin 1916, J. Springer. Felix Pinner, Emil Rathenau und das elektrische Zeitalter. Leipzig 1918, Akademische Verlagsgesellschaft. Walther Rathenau, Zur Kritik der Zeit; über das Ideal des großen Ge-

Seite

schäftsmannes. S. 218. Berlin 1912, S. Fischer. Derselbe, Von kommenden Dingen. Berlin 1917, S. Fischer. Karl Weihe, Der Kulturwert der Technik. Technik und Wirtschaft 1918, 11. Jahrg. S. 329 u. 406. Dort auch weitere Quellen.

99. Die Vergeistigung der Arbeit durch die Technik: Kammerer, Entwicklungslinien der Technik. Technik und Wirtschaft 1910, 3. Jahrg. S. 1.

101. Arbeitsverkürzung durch die Technik: v. Ochelhäuser, Technische Arbeit einst und jetzt. Vortrag. Berlin 1906, J. Springer. A. Wallichs, Die Psychologie des Arbeiters und seine Stellung im industriellen Arbeitsprozeß. 3. Heft der „Technischen Abende usw.". Berlin 1917, E. S. Mittler & Sohn. Taylor, Die Betriebsleitung. Berlin 1914, J. Springer. G. Schmoller, Über das Maschinenzeitalter in seinem Zusammenhang mit dem Volkswohlstand und der sozialen Verfassung der Volkswirtschaft. Vortrag. Berlin 1903, J. Springer.

101. Die gerechte Nutzverteilung in der Technik als Voraussetzung für ihre volle Kulturwirkung: Walther Rathenau, Von kommenden Dingen (wie oben). S. 92. Josef Popper, Die technischen Fortschritte nach ihrer ästhetischen und kulturellen Bedeutung. 2. Ausgabe. S. 62. Dresden u. Leipzig 1901, C. Reißner.

105. Im Tale der Kulturwellen: W. Wundt, Völkerpsychologie. Bd. 10. Leipzig 1920, A. Kröner. O. Wiener, Krieg und Völkerfriede, Anhang zu „Vogelflug, Luftfahrt und Zukunft", Deutsche Revue, Jahrg. 36, 1911, II S. 32. Auch selbständig erschienen bei J. A. Barth, Leipzig 1911. Bernhard Laum, Sozialismus und Kommunismus in der Demokratie des Altertums. Velhagen & Klasings Monatshefte, Jahrg. 34. 1919/20. 1. Bd. S. 425. A. Hoche, Die französische und die deutsche Revolution. Jena 1920, G. Fischer. Eduard Engel, Die Fremdwörterei in „Deutsche Stilkunst". Leipzig, G. Freytag; Entwelschung, Verdeutschungswörterbuch. Leipzig 1918, Hesse & Becker.

Verzeichnis der Abbildungen

Abkürzung „Seemann“ für „Sammlung Seestern-Lichtbilder der Lichtbild-Anstalt von E. A. Seemann, Leipzig“.